VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

Ф. У. Т. ЭПИНУС

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО
И
МАГНЕТИЗМ

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО
И
МАГНЕТИЗМ

ФУТ. ЭПИНУС

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

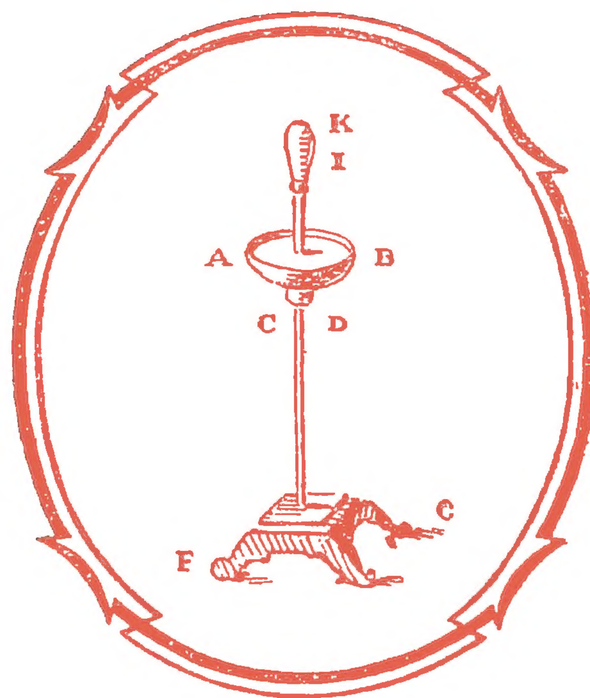
КЛАССИКИ НАУКИ



Ф. У. Т. ЭПИНУС

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И МАГНЕТИЗМА

РЕДАКЦИЯ И ПРИМЕЧАНИЯ
ПРОФЕССОРА Я. Г. ДОРФМАНА



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
1951

Под общей редакцией Комиссии Академии Наук СССР
по изданию научно-популярной литературы
и серии „Итоги и проблемы современной науки“
Председатель Комиссии Академии Наук СССР
академик *С. И. ВАВИЛОВ*
Зам. председателя член-корреспондент Академии Наук СССР
П. Ю. ЮДИН

ОПЫТ
ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И МАГНЕТИЗМА

С ПРИЛОЖЕНИЕМ ДВУХ ДИССЕРТАЦИЙ, ИЗ КОИХ ПЕРВАЯ ОБЪЯСНЯЕТ НЕКОТОРОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ, А ВТОРАЯ НЕКОТОРОЕ МАГНИТНОЕ ЯВЛЕНИЕ



TENTAMEN THEORIAE ELECTRICITATIS ET MAGNETISMI.

Accedunt Diſſertationes duae, quarum prior, phaenomenon quoddam electricum, altera, magneticum, explicat.

AVCTORE

F. V. T. AEPINO

Acad. Scient. Imper. Petropolitanae, Regiae Berolinenſis et Elector. Mogunt. Erford. Membro.

Inſtar Supplementi Commentar. Acad. Imper. Petropolitanae.

PETROPOLI

TYPIS ACADEMIAE SCIENTIARVM.

1759

V La / 18



Знаменитейший граф[1]

и всемилостивый государь!

Из тех людей, которые занимались исследованием природы, некоторым удалось превзойти других и сделать быстрые успехи. Таким предстал пред очами изумленного мира Ньютон, точно огромная река, которая, перешагнув через свои берега, могучим разливом прорывает сооруженные плотины и заливает лежащие вокруг поля, покрывая вширь и вдаль все, куда простирается взор.

Необыкновенная сила духа, которую они получили в дар от благосклонной к ним природы, несомненно есть главная причина, возведшая этих бессмертных мужей на ту вершину, которой мы дивимся. Однако же не воздают ли гению этих людей больше, чем ему следует, когда все приписывают ему одному?

Мы можем вообразить себе, что муж, одаренный столь великими сокровищами духа и занимающий поэтому первое место среди смертных, будет лишен каких бы то ни было побудительных причин, чтобы попытаться создать что-либо замечательное. Чего же еще более высокого добиваться? Не следует ли ждать большего от человека посредственных дарований, но воспламененного сильными поощрениями?

Так шарик, находящийся под воздействием упругих сжатых паров, может сломить ту преграду, которую едва лишь может поколебать скала, брошенная вялой рукой.

У членов Академии, чтущей своим Основателем Петра Великого..., нет недостатка в том, что могло бы поднять их дух.

Но Тебе, на которого императрица возложила заботу о нашем Обществе, Академия обязана тем, что мы имеем достаточно возможностей и средств для удовлетворения того пыла, которое возбуждает в нас великое имя Основателя... Но сверх того тем Твоим благоволением, с которым ты обычно взираешь на наши труды, ты ежедневно все более и более воспламеняешь дух каждого из нас, чтобы он стремился создать нечто замечательное.

Побуждаемый такими поощрениями, я осмелился сделать попытку — не удастся ли мне проложить себе дорогу к некоторым тайнам природы и открыть причины, благодаря которым природа постоянно производит эти удивительные явления.

Присущая телам сила, которую называют электричеством, открыта лишь недавно и вряд ли уже достаточно исследована. Однако же эта сила, будучи присуща одновременно большей части тел, в состоянии производить чрезвычайно мощные действия; это может служить докозательством того, что она должна быть причислена к важнейшим пружинам природы. Поэтому надо считать, что правильно мнение тех, которые во всех главнейших явлениях природы подозревали некоторое влияние этой силы. Так неужели же не достойна возбуждать тщание исследователей природы сила, с помощью которой, после того как она будет в достаточной мере исследована, можно надеяться когда-либо раскрыть тайны самой природы? Меня в высшей степени удовлетворяет предложенная Франклином теория этой силы, с тех пор, как я неоднократно убеждался на опыте, что она лучше отвечает явлениям, чем какая-либо другая. Однако я пришел к выводу, что мне удалось обнаружить в этой замечательной теории некоторые недостатки; поэтому я приложил усилия к тому, чтобы исправить их и, при помощи этих исправлений, так приспособить эту теорию, чтобы она была приведена к пол-

нейшему согласию с явлениями. Я смею надеяться, что эти попытки оказались не совсем бесполезными, ибо они, как мне кажется, осветили путь для постановки новых разнообразных исследований, важнейшие из которых и составляют книгу, Тебе посвящаемую.

Уже ранее стала известна естествоиспытателям родная сестра электрической силы, магнитная, и она была исследуема в течение более долгого времени. Правда, она присуща не всем телам, а только железу и рудам железа; но потому заслуживает весьма тщательного исследования, что она не только столь же удивительна, но сих пор приносила роду человеческому гораздо бо́льшую пользу, чем электрическая сила. Однако истинные причины магнитных явлений представляются более скрытыми, чем причины тех проявлений, которые имеют причиной электрическую силу тел. Тонкое исследование этой силы есть главная задача, поставленная пред собой в моем труде.

Я излагаю вместе и в тесной связи теорию электрической и магнитной силы. Быть может кое-кто этому удивится — именно те, которым известны причины, которые могли побудить меня поступать так. В моей речи, произнесенной в день . . ., который Академия отпраздновала публичным собранием, я открыл не только сходство между явлениями электрической и магнитной силы, но, я сказал бы, и полное совпадение; это совпадение вряд ли позволяет сомневаться в том, что те причины, благодаря которым природа достигает результатов действия той или иной силы, весьма сходны между собой. К открытию излагаемой здесь теории меня привели указанные выше наблюдения, и я полагал, что у меня нет другого способа для вполне отчетливого изложения ее, как проводить постоянное сравнение между электрической и магнитной силой.

Эта теория открыла мне путь для нахождения некоторых новых вещей; не говоря уже о другом, менее важном, я обязан этой теории тем, что случайно нашел способ увеличить

силы естественных магнитов до необычной степени и что мне удалось сделать те способы, которыми физики пользовались до сих пор для изготовления искусственных магнитов, более простыми, более удобными и более действительными. Благодаря этому мне удалось рассеять те сомнения, которым подвергался взгляд ученых, посвятивших себя натуральной философии, утверждавших, что земной шар заключает в себе в качестве ядра огромный магнит. Я старался, наконец, усовершенствовать инструмент, в котором человеческий род нуждается для жизненных потребностей и удобств, — именно магнитную стрелку.

Здесь я только заложил основания для этих усовершенствований; более тщательное исследование будет мною дано в отдельной книжке.

Тебе, сиятельнейший граф, я посвящаю эту книгу, в которой старался дать все то, что было перечислено выше и со всей надлежащей почтительностью прошу Тебя милостиво принять ее. Я делаю это с той целью, чтобы прежде всего отдать Тебе отчет в тех работах, которыми я прилежно занимался с тех пор, как был вызван Тобою в С.-Петербург, и чтобы показать, что если у меня и нехватает сил, то во всяком случае достаточно усердия, чтобы удовлетворить Твоим стараниям по развитию научных занятий во исполнение цели, поставленной Великим основателем Академии...

Ф. У. Т. Эпинус.



ПРЕДИСЛОВИЕ

Труд, к которому я пишу это предисловие, выходит в свет незаконченным. После того, как я завершил уже свою работу, я вижу, что некоторые части его я мог бы изложить более связно, отчетливо и систематично, чем это мною сделано. Но для того, чтобы подвергнуть вторичной обработке и отделке мой труд, у меня нехватило времени и я не считал это целесообразным.

В начале года болезнь приковала меня на довольно долгое время к постели, и это помешало мне с самого начала придать книге столь законченный вид, как мне бы хотелось; а после того, как я выздоровел, у меня уже нехватило времени для того, чтобы ее переработать.

Дело в том, что Академии было угодно, чтобы я отдал ее в печать, дабы ученый мир узнал, какая работа по теории магнита идет в нашей Академии, прежде чем она присудит премию, предложенную ею за работу об искусственных магнитах.[2]

Кроме того, я не желал долее трудиться над моей работой. Действительно, либо теория, которую я предлагаю, ложна; в таком случае я считал, что лучше мне заняться чем-либо другим, чем тратить бесполезно время на отделку ошибочной гипотезы: если моя гипотеза стоит в противоречии с природой, то я желаю, чтобы она была предана забвению вместе с другими домыслами праздных умов. Если же

опытные естествоиспытатели отнесутся к ней мягче и сочтут мою теорию согласной с истиной, то я думаю, что они охотно простят некоторые недостатки книге и ее автору, открывающему новый путь к тайнам природы. Поэтому я не считал существенным устранение из книги некоторых, еще оставшихся в ней недостатков.

Я ввел в эту книгу несколько алгебраических выкладок, правда кратких и нетрудных, частью принужденный к тому самой природой предмета, частью, как я указываю на это в самой книге, чтобы избежать многословия обычной речи. Я уверен, что это не вызовет недовольства ни с чьей стороны. Я считаю, что вряд ли кто-нибудь, желающий носить имя естествоиспытателя, будет настолько несведущ в математических науках, что его смогут сколько-нибудь затруднить те легкие выкладки, которые я здесь дал.

Представляю свою работу на суд читателей, сведущих в естественной философии. Если после тщательного рассмотрения оказалось бы, что предложенная мною теория не согласна с истиной, я буду готов признать, что своей основной цели я не достиг; однако же я полагаю, что читатели и в этом случае найдут кое-что полезное в моей книге. Если я не ошибаюсь, в ней есть кое-что новое, не столь уже прочно связанное с моей теорией, чтобы с крушением ее и это новое должно было бы рухнуть. Так я первый заметил, что ненаэлектризованные тела, как таковые, притягиваются и отталкиваются другими, наэлектризованными телами только после того, как они получат электрическую силу, совершенно так же, как железные тела[3] подвергаются какому-либо воздействию со стороны магнита только после того, как они сами получат магнитную силу.

Я обратил внимание на различные замечательные явления, которые обычно наблюдаются, когда электричество получается трением двух стеклянных пластин друг о друга. Я дал надлежащее описание изобретенного мною несколько лет тому назад способа вызывать так называемое электри-

ческое потрясение без помощи стекла.[4] Я показал, почему земной шар, хотя он и магнит, не производит никакого магнитного притяжения или отталкивания на железо или магнит, и таким путем я совершенно рассеял серьезное недоверие, которое вызывала часто высказывавшаяся естествоиспытателями мысль, что земной шар или сам является огромным магнитом, или, по крайней мере, заключает внутри себя такой магнит.

Я предложил способ для увеличения при помощи цементации сил естественных магнитов или вернее их способности получать бо́льшую степень магнитной силы. Предложенный Майчеллем способ двойного прикосновения[5] я исправил и предложил способ приготовлять искусственные магниты, дающий лучшие результаты, чем обычно применявшиеся до сих пор. Я проделал еще многое, на что здесь указывать нет нужды.

Что касается последних двух глав, то здесь необходимо еще кое-что добавить. Среди других работ, представленных на соискание премии, в Академию было представлено сочинение, написанное на французском языке, под девизом Ab una scintilla augetur ignis; я убедился теперь, что автор этого сочинения уже до меня имел возможность предложить исправление способа двойного прикосновения, очень похожее на мое; точно так же для вызывания к жизни, если можно так выразиться, первых зародышей магнитной силы в искусственных магнитах, изготовляемых без помощи естественного магнита, он обычно пользуется приблизительно тем же приемом, что и я. Чтобы не приписывать себе чужих заслуг, я объявляю, что автор этого трактата должен считаться первым изобретателем этих способов и что я охотно уступаю ему эту славу.[6]

В конце я прибавил две статьи. Первая из них дает объяснение одного электрического явления, открытого выдающимся и усердным естествоиспытателем славнейшим Рихманом,[7] это объяснение основывается на франклиновой теории

электричества,[8] исправленной мною в некоторых пунктах. Вторая имеет целью установить причины некоторого парадоксального магнитного явления, открытого неизвестным автором. Я убежден, что обе эти статьи доставят удовольствие читателям.

С.-Петербург, 1759 г., в октябре месяце.



1. После того, как стали известными удивительные явления электричества и законы действия его силы, почти неизвестные древним, некоторые из физиков тотчас же начали помышлять о том, чтобы провести сравнение между этой вновь открытой и другой силой, не менее удивительной, но известной уже с древнейших времен — магнитной силой. С первого взгляда сразу же бросалось в глаза, хотя и в самых туманных чертах, некоторое сходство между явлениями, зависящими от той и от другой силы; такая аналогия могла побуждать к этой работе тех, которым было хорошо известно, насколько природа любит действовать согласно законам аналогии. В исследовании этого вопроса, как и во всем прочем, проявил себя особенно усердным знаменитейший Мушенбрёк,[9] который опубликовал большой перечень сходств и различий между той и другой силой. Уже много лет тому назад, если я не ошибаюсь, Бордоская академия наук предложила в качестве публичной темы на соискание премии вопрос о сходстве между электричеством и магнетизмом, но я не помню, и мне не удалось выяснить, несмотря на тщательное исследование, какое сочинение получило тогда премию и было ли оно напечатано и опубликовано. Кроме того, было немало и других авторов, указавших на то, что они подозревают существование некоторой связи между электричеством и магнетизмом; однако я не вижу нужды перечислять здесь их имена. Но, говоря по правде, до откры-

тия Франклином теории электричества было почти невозможно обосновать научным образом то сходство, которого они искали. Действительно, кроме поверхностного сходства, состоящего в том, что и наэлектризованные и намагниченные тела производят различные притяжения и отталкивания (однако, как тогда казалось, при этих действиях электричество и магнетизм следуют весьма различным законам), не наблюдалось почти никакого сходства; поэтому, наоборот, было уместнее полагать, что в явлениях, обусловленных этими силами, электричество и магнетизм идут по совершенно различным путям, чем по сходным и аналогичным.

2. Хотя я уже давно думал об этих вещах, но, не видя ни малейшего луча надежды на то, что я открою что-нибудь существенное, я не хотел серьезно посвящать себя работе, которую считал тщетной. Но в конце 1756 и в начале 1757 г., когда я еще жил в Берлине, я неожиданно должен был вернуться к размышлению над этим вопросом. В то время я занимался исследованием открытых мною удивительных свойств камня турмалина и сочинением описания моих открытий, которое я представил славнейшей Берлинской академии наук; ныне оно напечатано в Известиях этой славнейшей Академии за 1756 г. Тогда поражало не только меня, но и всех тех, кого я посвятил в мои открытия, связанные с турмалином, чрезвычайное сходство между этим камнем и магнитом. Это сходство настолько бросалось в глаза, что (в чем я не сомневаюсь) оно приходило в голову всякому, кто читал написанное мною о турмалине.[10] Итак, под впечатлением этого случая, так как теперь мне уже стала улыбаться надежда, я начал снова исследовать сходство между магнитной и электрической силой. Уже тогда я достиг значительных успехов, но так как я готовился к отъезду, у меня нехватало времени, чтобы дать моим мыслям достаточно созреть. Поэтому я не делал по этому вопросу никаких докладов в Академии, но лишь посвятил в мои открытия нескольких друзей, которым рассказал, что я считаю причины

магнитных и электрических явлений совершенно сходными, а действия магнита аналогичными с действиями Лейденской банки.

3. Прибыв затем в Петербург,[11] я решил не бросать этой работы, так как надеялся, что смогу с помощью ее подготовить путь к тайнам природы. Я полагаю, что то усердие, которое я посвятил этому делу, увенчалось успехом. После того, как я в течение некоторого времени исследовал сходство между электричеством и магнетизмом как путем отвлеченных рассуждений, так и посредством опытов (в этом исследовании мне оказалась весьма полезной коллекция искусственных магнитов, и притом очень сильных, которой владеет наша императорская Академия), я, наконец, заметил, что это сходство не только не лишено основания, но, наоборот, не подлежит никакому сомнению. После того как я стал переносить на магнетизм франклинову теорию электричества, внеся изменения в некоторые ее главы, я сразу же пришел к убеждению, что можно создать теорию магнитных явлений, весьма сходную с франклиновой теорией электричества, с помощью которой можно объяснить магнитные явления с таким же успехом, с каким из последней объясняется большая часть явлений электричества. Этот успешный результат придал мне бодрости и, еще более усердно занявшись этими исследованиями, я приблизительно год тому назад пришел к той теории, которую здесь излагаю.

4. К этому присоединилось еще и то, что императорская Академия удостоила меня чести выступить с публичной речью на торжественном собрании, которое она устроила 7 сентября 1758 г. Предложенная мною тема о сходстве между электричеством и магнетизмом удостоилась одобрения Академии, так как она считала, что эта тема новая и должна понравиться публике. Поэтому я выступил с речью по поручению Академии.[12] Однако у меня создалось впечатление, что серьезное и тщательное изложение этой теории и приложение ее к явлениям, во-первых, должно привести к не-

сколько более глубоким исследованиям, требующим особенной усидчивости и весьма надоедливым; во-вторых, что эта теория должна была быть изложена в письменном виде, так как она должна далеко выйти за рамки публичной речи. Поэтому я оставил мысль изложить в своей речи мою теорию и удовольствовался лишь исторической стороной вопроса, а именно — перечислением сходных сторон той и другой силы, поскольку они обнаруживаются из опытов. Лишь в конце речи я добавил вкратце сообщение об основных положениях, на которых, по моему мнению, зиждется вся магнитная теория.

5. Я ясно отдаю себе отчет в том, что из согласия между какой-либо гипотезой и явлениями еще нельзя заключить с уверенностью, что мы нашли истинную причину этих явлений. Поэтому, хотя теория, которую я здесь хочу изложить, и удовлетворительно объясняет бо́льшую часть магнитных явлений, я, тем не менее, предпочитаю поступить скромно и без самоуверенности и прошу принять то, что я здесь предлагаю, скорее как нечто правдоподобное, чем считать мою теорию твердо уже установленной. Однако же я надеюсь, что моя теория заслужит одобрение читателей вследствие полного соответствия как с магнитными явлениями, так и с законами природы, известными из других областей. К сказанному я, наконец, прибавлю еще и то, что, по моему мнению, моя теория получает немалое подтверждение в том, что (как это весьма вероятно) природа осуществляет аналогичные явления аналогичным способом. Действительно, как показывает опыт, магнитные явления сходны с электрическими; в этом не может быть сомнения, что безусловно должны будут признать те, которые пожелают прочесть мое сочинение. Если принять все это во внимание, то (я убежден в этом) я могу не считать праздной надежду, что моя теория удостоится одобрения естествоиспытателей и что они будут считать ее вероятной в такой же степени, в какой все разбирающиеся в этом деле люди считают себя убежденными в правильности Ньютона объяснения явлений

системы мира. Ведь и теория Ньютона не может дать никакого другого доказательства своей правильности, кроме полного соответствия явлениям и законам природы, известным из других областей.

6. Я свожу все явления магнита к одному началу: я объясняю их некоей жидкостью, частицы которой отталкивают друг друга, но притягиваются железом. Единственная цель этого сочинения показать, каким образом из этих немногих предпосылок и из основоположений, весьма соответствующих другим сходным явлениям в природе, как бы сами по себе вытекают бесчисленные и удивительные явления магнетизма. При этом я не занимаюсь исследованием вопроса, откуда происходят эти первоначальные силы, силы притяжения и силы отталкивания, которыми наделены, как я допускаю, частицы железа и магнитной материи. Исследовать этот вопрос я предоставляю тем, кому угодно тратить время на такого рода исследования. Как мне кажется, я в известном смысле следую при этом образу действий геометров, которые, если им предлагают решить задачу, основанную на квадратуре круга, довольствуются тем, что сводят эту задачу к квадратуре и показывают, какова ее зависимость от квадратуры, причем не требуют, чтобы заодно им было бы показано, как находится сама квадратура круга. Я счел тем более необходимым подражать им, что, по моему мнению, первоначальные и основые силы, к помощи которых прибегает природа, играют в некотором смысле такую же роль в физике, как трансцендентные величины в геометрии. Сам величайший Ньютон поступал таким же образом: он показывает, какова зависимость движения небесных тел от всемирного тяготения, но не заботится о том, чтобы выявить, откуда взялось само это всемирное тяготение. Этот мой способ действия, без сомнения, заслужит упрек со стороны тех, которые возмущаются употреблением терминов „притяжение“ и „отталкивание“ в натуральной философии. Чтобы удовлетворить их, я заявляю, что я вполне

убежден в существовании сил притяжения и отталкивания; однако я отнюдь не считаю их, как поступают некоторые неосторожные последователи великого Ньютона, силами, внутренне присущими телам, и я не одобряю учения, которое постулирует действие на расстоянии. Действительно, я считаю несомненной аксиомой предложение, по которому тело не может производить никакого действия там, где его нет: если когда-нибудь будет доказано, что какое-либо притяжение или отталкивание совершенно не зависит от внешнего давления или импульса, то, по моему мнению, мы принуждены будем в таком случае допустить, что движение такого рода руководится или производится духами или существами, которые действуют притом сознательно, однако я не могу заставить себя поверить, что это имеет место в мире. Итак, мой взгляд сводится к тому, что притяжения и отталкивания, о которых я говорил, я считаю явлениями, причины которых еще скрыты, однако от них зависят и от них берут начало другие явления. Но я считаю, что тот, кто сводит более сложные явления к их ближайшим причинам и первоначальным силам, делает серьезный шаг вперед в исследовании действий природы, хотя бы причины этих причин и не были еще раскрыты. Я убежден, что такое разъяснение моих взглядов, которое я здесь предлагаю, удовлетворит даже самого сурового критика.

С.-Петербург, 1758 г.



Глава I

ОБЩИЕ ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И МАГНЕТИЗМА

1. Тот, кто изучил основательно изящнейшую и удивительным образом согласующуюся с явлениями франклинову теорию электричества, должен будет признать, что она может быть сведена к следующим немногим общим положениям.

α) Существует некая жидкость, производящая все электрические явления и вследствие этого названная электрическою, тончайшая, весьма эластичная, части которой, даже на значительных расстояниях, заметно отталкивают друг друга.

β) Частицы этой жидкости притягиваются материей, из которой состоят все известные до сих пор тела.

γ) В самом способе, каким другие тела действуют на частицы электрической жидкости, существует примечательное различие. В самом деле, одни из тех отличаются тем свойством, что электрическая материя в их порах движется с чрезвычайной легкостью и не встречает никакого сопротивления, свободно проходя через их поры в любом направлении; напротив, другие тела имеют такую природу, что с трудом лишь допускают такого рода движение и препятствуют ее свободному перемещению; обычно тела первого рода называют *неэлектрическими по своей природе*, а второго — *электрическими по своей природе*.[13]

δ) Электрические явления бывают двух родов. Одни возникают в результате фактического перехода электрической материи из одного тела в другое, когда она переходит из тела, содержащего большее количество этой жидкости, в другое, содержащее меньшее ее количество. Сюда относятся прежде всего электрические искры и другие явления, относящиеся к электрическому свету; другие же электрические явления происходят без фактического перемещения жидкости, т. е. без перехода из одного тела в другое; сюда относятся, главным образом, притяжения и отталкивания, вызываемые обычно наэлектризованными телами.

2. Я полагаю, что эти положения содержат все теоретические основы, необходимые нам для объяснения электрических явлений. Франклин присоединил сюда еще явление, которое было им названо непроводимостью стекла; это допущение было ему необходимо для объяснения Лейденской банки и явлений опыта с потрясением.[14] Но, к моему удивлению, сей прозорливейший муж не заметил того, что эта непроводимость, или, иначе, сила сопротивления, препятствующая прохождению электрической жидкости, является всецело следствием сущности тел, электрических по природе; она — не особое свойство стекла, а общее свойство всех тел, электрических по природе. Действительно, как прекрасно заметил этот знаменитейший муж, тела, электрические по природе, являются такими потому, что электрическая материя не может беспрепятственно пройти через их поры; поскольку это так, уже с первого взгляда ясно, что совершенно одно и то же, сказать ли, что то или иное тело есть электрическое по природе, или сказать, что оно не пропускает электрической жидкости. Поэтому я и счел излишним какое бы то ни было упоминание о непроводимости стекла, ибо, во-первых, ее нельзя рассматривать как некоторое особенное свойство, а во-вторых, она не есть особенность стекла, тогда как наша задача — установить общие основы теории электричества.

3. Поскольку цель настоящего сочинения — непрерывно проводить сравнение между электричеством и магнетизмом и обнаруживать то сходство, которое имеет место повсюду в проявлениях той и другой силы, равно как и в их причинах, чтобы вывести отсюда теорию электричества, то я, в силу этих принятых мною исходных положений, без всякого промедления сразу же перейду к установлению оснований теории магнетизма. Я исхожу из положения, что все магнитные явления могут быть выведены из следующих немногих оснований, чрезвычайно сходных с теми, на которых построена была франклинова теория электричества.

α) Существует жидкость, производящая все магнитные явления, которую поэтому следует называть магнитной. Эта жидкость чрезвычайно тонка, может проходить через любые поры в телах; ее частицы, как и частицы электрической жидкости, взаимно отталкивают друг друга.

β) Эта жидкость в большей части других тел, обнаруживаемых в мире, не вызывает никакой реакции; она не притягивается и не отталкивается ими.

γ) Однако же существует определенный ряд тел, части которых притягивают магнитную материю и точно так же ею притягиваются; телом, наделенным таким свойством, является прежде всего железо, а затем все тела, именуемые железными, поскольку в них есть железо, как то: различные руды железа, столь известный камень, именуемый магнитом,[15] один вид черного песка, обычный в Виргинии и у берегов Балтийского моря, и другие вещества того же рода.

δ) Существует величайшее сходство между железом и железными телами, с одной стороны, и телами, электрическими по своей природе, с другой. Как в последних электрическая жидкость, так в первых магнитная может двигаться лишь с трудом; более того, как кажется, магнитная жидкость испытывает даже большее сопротивление при прохождении через поры железа, чем обычно встречает электрическая

жидкость в порах тел, электрических по природе, известных нам до сих пор.

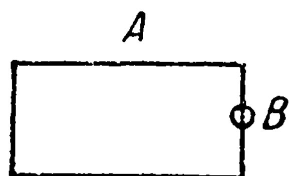
ε) До сих пор неизвестно ни одного тела, которое действовало бы на магнитную материю и соответствовало бы телам, не электрическим по природе. Действительно, не существует такого тела, чтобы частицы его притягивали магнитную материю и в то же время чтобы через его поры был открыт свободный и беспрепятственный проход магнитной жидкости. Притом же в самом железе, повидимому, можно обнаружить в этом отношении различные ступени. В самом деле, чем мягче железо — независимо от того, чистое ли оно или смешано с инородными частицами, как это бывает в рудах, — тем свободнее в его порах движется магнитная жидкость; чем тверже оно, тем больше сопротивление своему движению оно встречает. Таким образом, мягкое железо имеет гораздо больше сходства с телами, неэлектрическими по природе, чем твердое.

4. Отсюда ясно, что я отнюдь не считаю магнитную жидкость и жидкость электрическую одним и тем же веществом, как поступают те, которые и явления электричества и явления магнетизма и еще многое другое стараются вывести из одной и той же тончайшей жидкости — именно из эфира. Ибо, как предполагаю, эти жидкости наделены свойствами весьма различными, которые никак не могут сосуществовать в одной и той же вещи. Главное и наиболее замечательное различие состоит в том, что электрическая материя притягивается всеми известными до сих пор телами, тогда как магнитная жидкость, наоборот, не подвергается воздействию никаких тел, за исключением только железа. Меня при этом мало пугает возражение, столь обычное в других случаях, что и без нужды изобретаю еще одну тонкую жидкость и, таким образом, отступаю от положения о соразмерности природы, которую обычно она постоянно соблюдает в своих делах и которая состоит в том, что она стремится достичь самых больших результатов при помощи самых малых

средств.[16] Действительно, так как действия магнита лишь в том случае могут быть удачно объяснены, если магнитной жидкости будут приписаны свойства, резко отличающиеся от свойств, которыми одарена электрическая материя, то я не без причины, но руководимый созерцанием самой природы, приписываю обеим жидкостям коренное различие.

5. Из изложенных (§§ 1 и 3) основ магнитной и электрической теории и их сравнения между собой уже без труда можно заметить, какие электрические явления имеют аналогию среди магнитных, а какие не имеют. Без труда можно на основании сказанного сделать общее наблюдение, что электричество по разнообразию своих явлений должно быть гораздо богаче магнетизма. Ибо существует несчетное число тел, которые действуют на электрическую жидкость и на которые она взаимно действует; в этих телах электрическая материя движется совершенно свободно и не встречая какого бы то ни было сопротивления; но не существует тел, в которых то же самое происходило бы по отношению к магнитной материи. Ибо во всем учении о магнетизме не указывается ни на одно явление, относящееся к телам, если так можно выразиться, не магнитным по своей природе, тогда как наоборот, явления, относящиеся к телам, неэлектрическим по своей природе, весьма многочисленны. Поэтому тем явлениям, которые свойственны телам, неэлектрическим по своей природе, нет аналогий среди явлений магнетизма, но эта аналогия существует, скорее всего, только по отношению к явлениям, относящимся к телам, электрическим по своей природе. Однако основные начала, порождающие магнитные явления, мало чем отличаются от начал, которыми следует объяснить те явления, которые относятся к телам, электрическим по природе. И, тем не менее, не следует ожидать, что должно быть обнаружено полное совпадение, ибо железо (разумеется твердое) имеет то примечательное отличие, от известных нам тел, электрических по природе, что электрические тела легче допускают движение электри-

ческой жидкости в своих порах, чем магнитные — движение магнитной жидкости. Поэтому, ввиду того, что среди явлений электричества не встречается явлений, аналогичных явлениям магнетизма, исключая лишь явления, относящиеся к телам, электрическим по природе, вряд ли можно ожидать найти в магнитных явлениях что-либо существенное для построения теории электричества, исключая лишь явления, относящиеся к телам, электрическим по своей природе. Итак, было бы чем-то совершенно чуждым цели этого сочинения, если бы я привлек сюда и прочие явления электричества, ибо я собираюсь здесь скорее обосновать теорию магнетизма, чем теорию электричества.



Фиг. I.

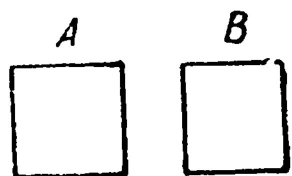
6. Представим себе, что некоторое тело A (фиг. I) содержит определенное количество жидкости, частицы которой притягиваются телом A, а друг друга взаимно отталкивают; легко видеть, что частица этой жидкости, оказавшаяся близ поверхности тела A, напр., частица B, подвергнется двоякому воздействию: эта частица B притягивается телом A, но отталкивается жидкостью, заключенной в порах тела A. Эти противоположные силы либо равны друг другу, либо не равны; в последнем случае берет верх либо отталкивание, либо притяжение. Если мы утверждаем, что эти силы равны друг другу, то ясно, что действие на частицу B равно нулю, ибо действующие на нее силы, стремящиеся произвести на нее противоположные действия, взаимно уничтожают друг друга. Если же в теле A заключено столь большое количество жидкости, что отталкивание превышает притяжение, то частице B необходимо будет уступить первой из этих сил, вследствие чего она должна будет вылететь и отделиться от тела A. Так как то же случится и с другими частицами жидкости, то ясно, что должно иметь место непрерывное истечение жидкости из тела A (если только не будет действовать какая-либо посороняя или внешняя сила, пре-

пятствующая этому истечению). Это истечение будет продолжаться до тех пор, пока, вследствие непрерывного уменьшения количества жидкости, заключенной в теле A, и, в связи с этим, постоянного уменьшения силы отталкивания, ее величина будет доведена до равенства с силой притяжения, которая в течение всего этого времени останется неизменной. Вследствие этого в конце концов всякое истечение должно прекратиться. Наконец, если будет сделано допущение, что притяжение, действующее на частицу B, больше отталкивания, то, очевидно, должно будет случиться обратное. Ибо в этом случае частицы жидкости будут проникать со всех сторон в тело до тех пор, пока, вследствие постоянного увеличения количества жидкости, отталкивание, наконец, достигнет такой степени, что станет равным притяжению, и тогда должно будет прекратиться всякое дальнейшее проникновение жидкости в тело.

7. Из сказанного ясно, что всегда может быть установлено определенное количество жидкости, которое должно содержаться в теле A для того, чтобы не было ни какого-либо истечения жидкости, ни втекания ее в тело. Если это количество будет изменено, то при его увеличении жидкость будет сама по себе вытекать из тела, а при уменьшении она сама по себе будет втекать, пока не восстановится равновесие. Это количество, повидимому, справедливо может быть названо *естественным*, ибо тело, предоставленное самому себе, всегда само по себе возвращается в такое состояние, когда оно содержит не больше и не меньше, а ровно столько жидкости, сколько достаточно для достижения равновесия между силой притяжения и силой отталкивания. Прилагая этот вывод и к электрической и к магнитной жидкости, следует сделать вывод, что любое тело, предоставленное самому себе, самопроизвольно всегда возвращается в такое состояние, когда оно содержит точно такое количество электрической жидкости, какое достаточно для достижения равновесия между силой притяжения и силой

отталкивания. Точно так же всякое сходное с железом тело всегда само по себе будет приходить в такое состояние, когда оно содержит такое же количество магнитной жидкости. После этих замечаний читатели без труда поймут, что́ будет в дальнейшем обозначать выражение *естественное количество* электрической или магнитной жидкости.

8. Далее из опыта известно, что если приблизить друг к другу два тела A и B (фиг. II), заключающие в себе естественное количество электрической или магнитной жидкости, то эти тела не будут в этом случае производить друг на друга никакого действия, которое можно было бы приписать электричеству или магнетизму, и не будут друг друга ни притягивать, ни отталкивать. Чтобы отчетливее понять правильность этого утверждения, рассмотрим тщательнее тот способ, которым действуют друг на друга два тела, наполненные магнитной или электрической жидкостью.



Фиг. II.

Без труда можно видеть, что между этими телами существует как притяжение, так и отталкивание. В самом деле, жидкость, содержащаяся в A, отталкивая жидкость, которая содержится в B, вместе с тем отталкивает и все то тело, с которым связана эта жидкость. И наоборот, материя, из которой состоит тело A, притягивая к себе жидкость, заключенную в B и с ним связанную, одновременно притягивает к себе и все это тело. Таким же образом и тело B обратно действует на тело A. Итак, эти противоположные силы, действующие в двух телах друг на друга, либо равны между собой и взаимно уничтожают друг друга, либо одна из них — будь то притяжение или отталкивание — берет верх над другой. Это равенство или неравенство противоположных сил зависит, как это нетрудно видеть, от количества жидкости, содержащейся в любом из этих тел. Поэтому возникает вопрос: если каждое тело содержит естественное количество жидкости, уничтожаются ли взаимно притяжение и отталкивание или нет? На этот вопрос мы легко сможем ответить,

прибегнув к помощи опыта. Из § 7 ясно, что любое тело, предоставленное самому себе, всегда самопроизвольно приходит в такое состояние, что содержит в точности естественное количество жидкости. С другой стороны, мы знаем из опыта, что все тела, предоставленные сами себе, не производят друг на друга никакого действия, которое можно было бы приписать электричеству или магнетизму. Если они благодаря какому-нибудь внешнему воздействию будут выведены из этого состояния, то все же они сами по себе, если только этому не помешает что-либо постороннее, возвращаются в первоначальное состояние, при котором они не действуют друг на друга. Итак, очевидно, что то состояние тел, когда они содержат естественное количесто электрической или магнитной жидкости, вполне совпадает с тем, когда притяжение и отталкивание взаимно уничтожаются и когда тела не действуют друг на друга.

9. Итак, не существует никакого взаимодействия между телами, зависящими от электричества и магнетизма, пока они содержат естественное количество жидкости. Поэтому нам необходимо главным образом обращать внимание на те случаи, когда естественное количество жидкости претерпело изменение. Ясно, что, вообще говоря, это количество может измениться и таким образом может возникнуть электричество или магнетизм двояким образом: либо увеличением количества электрической или магнитной жидкости так, чтобы оно стало выше естественного, либо уменьшением так, чтобы оно стало ниже его. Непосредственно очевидно, что в обоих этих случаях равновесие между притяжением и отталкиванием тел не может дольше существовать. Франклин назвал электричество, которое получается путем увеличения количества электрической материи, — *положительным*, а то, которое получается путем ее уменьшения, — *отрицательным*. В том же смысле я сохраняю эти термины, перенося их на магнетизм. Итак, я принимаю, подобно существованию двух различных видов электричества, и наличие двух видов магнетизма:

один из них будет называться *положительным* магнетизмом, другой — *отрицательным*. Отсюда следует, что наделение некоторого тела магнетизмом или электричеством может произойти тремя способами: либо некоторое тело станет все положительно-магнитным или положительно-электрическим; либо оно станет все отрицательно-магнитным или отрицательно-электрическим; либо оно приводится в такое состояние, когда одна его часть положительно-электрическая или положительно-магнитная, а другая в то же время отрицательно-электрическая или отрицательно-магнитная. Рассмотрим же несколько подробнее эти три состояния тел, наделенных электричеством или магнетизмом.

10. Пусть сперва тело A (фиг. I) будет находиться в естественном состоянии, или, иначе говоря, пусть оно содержит естественное количество жидкости, которое в дальнейшем будем обозначать Q. Если мы примем, что B — некоторая частица электрической или магнитной жидкости, находящаяся около поверхности тела, то эта частица B будет притягиваться всем телом A, но отталкиваться той жидкостью, которой заполнены поры этого тела. Назовем эту силу притяжения a, а силу отталкивания, действующую на B, — r, тогда сила, с которой частица B притягивается к телу A, равна $a - r$. Но так как мы допустили, что тело находится в естественном состоянии, то тело A содержит точно такое количество жидкости, которое может удержать сила притяжения этого тела; следовательно, все действие, производимое на частицу, иначе $a - r = 0$. Допустим теперь, что к жидкости, содержащейся в теле, присоединяется, безразлично каким образом, некоторое определенное ее количество, распределенное равномерно по всему телу; пусть его количество относится к естественному количеству жидкости, как α к Q; тогда отталкивание частицы B будет равно $\frac{(Q+\alpha)r}{Q}$, а притяжение будет таким же, как и раньше; значит, теперь частица B будет притягиваться к телу A силой, равной $a - r - \frac{\alpha r}{Q}$.

Но так как $a - r = 0$, то сила, которая притягивает частицу B к A, равна $-\frac{\alpha r}{Q}$; иными словами, частица B будет отталкиваться от тела A с силой $\frac{\alpha r}{Q}$.[17]

11. Итак, если только какая-либо внешняя причина не помешает частице B подчиняться той силе, которая на нее действует, то она должна будет отделиться от тела A и улетучиться. Так как такое же утверждение будет верно для всякой частицы жидкости, находящейся около поверхности, то должно иметь место самопроизвольное обильное истечение материи, продолжающееся до тех пор, пока тело A не вернется в естественное состояние. Ибо, хотя количество жидкости, содержащейся в теле A, при продолжении истечения постоянно уменьшается и вследствие этого α, а вместе с тем сила, производящая истечение и равная $\frac{\alpha r}{Q}$, постоянно убывает, тем не менее это истечение не сможет остановиться раньше, чем сила $\frac{\alpha r}{Q}$ не исчезнет, т. е. раньше, чем α станет равной нулю, или, иначе, раньше, чем тело не вернется в естественное состояние. Если же будет существовать некая препятствующая сила, которая сможет оказать сопротивление этому истечению, то истечение, правда, замедлится, но, тем не менее, совершенно прекратиться не сможет, ранее чем тело A не придет в естественное состояние.

12. Эти рассуждения, относящиеся к случаю, когда в теле избыток жидкости, легко могут быть перенесены и на другой случай, когда количество жидкости уменьшается ниже естественного уровня. Действительно, для приспособления найденной формулы к этому случаю надо, вместо того чтобы (§ 10) принимать избыток жидкости в теле A над Q равным количеству $+\alpha$, положить, что этот избыток равен количеству $-\alpha$ или, что одно и то же, что оно не увеличится, а уменьшится на количество α. Частица B, находящаяся около поверхности тела A, будет теперь уже притягиваться к телу с силой, которая равна $\frac{\alpha r}{Q}$, и, если ничего не будет

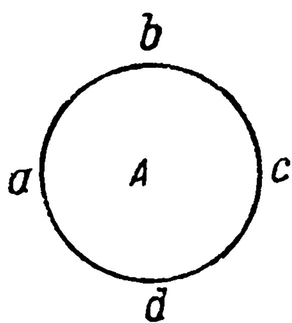
препятствовать этому, проникнет в тело. Итак, начнется непрерывное проникновение жидкости в тело, которое будет продолжаться до тех пор, пока не станет $\alpha=0$, т. е. пока тело A не придет снова в естественное состояние. Если же встретится какое-либо естественное препятствие, то понадобится более продолжительное время, пока тело сможет вернуться в естественное состояние; но совершенно прекратиться проникновение жидкости сможет лишь тогда, когда тело окончательно возвратится в естественное состояние.

13. Если мы приложим то, что было принято выше, к электричеству, то станет ясно, что положительно-электрическое или отрицательно-электрическое состояние не прочно и должно всегда быстро уничтожаться, если тольке та или иная посторонняя причина не сохранит его на некоторое время. Но мы можем представить себе две такие причины, которые в равной мере могут содействовать сохранению как положительного, так и отрицательного электричества; из них одна — внешняя, другая — внутренне присуща наэлектризованному телу. Если тело A будет со всех сторон окружено телами, электрическими по природе, то в случае положительно-электрического состояния частица B, правда, отталкивается от него; однако она лишь с трудом может проникнуть в поры смежных тел, ибо они, будучи электрическими по природе, не предоставляют ей свободного входа. Вследствие этого истечение электрической материи, находящейся в избытке в A, значительно замедлится. Поэтому положительно-электрическое состояние в этом случае должно продолжаться значительно дольше, чем при отсутствии такого препятствия. Если же тело A будет отрицательно-электрическим, то частицы электрической жидкости могут проникнуть в тело A только в том случае, если им удастся выйти из пор тел, смежных с его поверхностью, и пройти через них; поэтому и приток будет более медленным, вследствие чего и это состояние должно сохраняться дольше.

14. Далее, внутреннее препятствие исчезновению электричества может встретиться в том случае, если тело *А* — электрическое по своей природе. В самом деле, тогда ни вытекающая материя не может легко выделиться из пор тела, ни притекающая к телу материя не может легко проникнуть в эти поры; поэтому как положительное, так и отрицательное электричество[18] может с бо́льшим трудом исчезнуть из тела, электрического по природе, чем из тела, неэлектрического по природе. С этими рассуждениями лучше всего согласуется опыт. Ведь мы знаем следующее: если в каком-либо теле, неэлектрическом по своей природе, получено электричество, а затем к этому телу прикоснется другое тело, неэлектрическое по своей природе, которое предоставляет электрической жидкости свободный и беспрепятственный проход, то в этом случае наэлектризованное тело мгновенно вернется в естественное состояние. Но если то же самое тело будет положено на какое-угодно тело, электрическое по своей природе, напр. на стекло, и окружено сухим воздухом, который также электрический по своей природе, то известно, что требуется значительное время, прежде чем электричество совершенно исчезнет и тело вернется в естественное состояние.

Не менее хорошо известно и то, что при прочих равных условиях электричество из тел, электрических по своей природе, не так быстро исчезает, как из тел, неэлектрических по своей природе. Исключением является, повидимому, лишь тот случай, когда такое тело, электрическое по своей природе, после того как оно наэлектризовано, будет соприкасаться по всей своей поверхности с каким-либо телом, неэлектрическим по своей природе, как, напр., если оно будет погружено в воду. В этом случае, как показывает опыт, даже у тел этого рода все электричество внезапно иссякает. Но нетрудно определить причину, почему так должно происходить. В самом деле, при электризации тела, электрического по своей природе, как, напр., стеклянного шара *А* (фиг. III),

избыток или недостаток электрической жидкости никогда не распространяется на внутренние части тела, но останавливается на частях, наиболее близких к поверхности. Ведь если мы увеличим количество электрической материи на поверхности шара *A*, то она принуждена будет оставаться в частях, ближайших к поверхности, из-за трудности прохождения через поры этого тела, и она не сможет проникнуть во внутренние части. Точно так же, если с поверхности тела будет удалена электрическая жидкость, то частицы, занимающие внутренние части шара, хотя и стремятся к поверхности, но достигнуть ее и высвободиться из пор, вследствие трудности продвижения по порам, не могут. Итак, и отрицательное электричество в теле такого рода никогда не проникает вглубь от поверхности. Значит, в обоих случаях в нашей власти только наэлектризовать крайнюю поверхность шара *abcd*, но всегда внутреннее ядро тела остается в естественном состоянии.

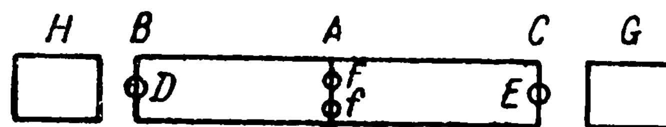


Фиг. III.

Что же касается того электричества, которое находится только на поверхности, то оно может быть крайне быстро совершенно уничтожено водой, окружающей шар. Однако я не сомневаюсь, что если стеклянный шар значительной величины мог бы быть наэлектризован до такой степени, чтобы электричество проникло во все его части, и если его погрузить в воду и быстро вытолкнуть назад, то он не потеряет всего своего электричества. Впрочем, водой, окружающей шар, будет уничтожено лишь то электричество, которое находится на поверхности, но это удаление не сможет простираться до внутренних частей шара. Подобным же образом поверхность раскаленного железного шара, погруженного в холодную воду и тотчас же вытащенного, сперва становится холодной наощупь, но через короткий промежуток времени снова значительно нагревается. Но вряд ли возможно, поступая таким путем, проверить правильность этого утверждения опытом. Впрочем, ниже, при другом подходящем случае, я

укажу на некоторые факты, которые с очевидностью докажут, что тело, электрическое по своей природе, упорно сохраняет свое электричество, хотя бы по всей своей поверхности оно тесно соприкасалось с телом, неэлектрическим по природе.

15. Теперь рассмотрим также третий случай, который будет нам особенно необходим для обоснования теории магнетизма. Итак, представим себе тело A (фиг. IV), разделенное на две равные части AB и AC, и допустим сперва, что это тело находится в естественном состоянии и что естественное количество жидкости, приходящейся как на часть AC, так и на часть AB, равно Q. Допустим далее, что D и E — это две частицы жидкости либо электрической, либо магнитной, находящиеся около поверхности тела.



Фиг. IV.

Допустим, что каждая из них притягивается телом A с силой a, но что частица E отталкивается естественным количеством жидкости, содержащимся в AB, с силой, равной r', а тем количеством жидкости, которое приходится на другую часть AC, она отталкивается с силой r. Совершенно ясно, что, поскольку для частиц D и E все условия одни и те же, частица D притягивается также с силой, равной a, а отталкивается жидкостью, содержащейся в AC, с силой, равной r', а той жидкостью, которая заключена в части AB, с силой, равной r. Итак, притяжение, которое испытывает как частица D, так и частица E в направлении к телу A, равно $a - r - r'$. Но так как предположено, что тело A находится в естественном состоянии, то это притяжение будет равно нулю. Теперь, если мы представим себе, что количество жидкости в AC увеличивается на количество, которое относится к естественному количеству, как α к Q, а в BC, наоборот, уменьшается на количество, которое относится к естественному, как β к Q, то количество жидкости, содержащейся в AC, будет равно $Q + \alpha$, а содержащейся в AB, равно $Q - \beta$. Если, далее, мы теперь предположим, что эти количества как в части AC, так и в части

AB распределены равномерно, то частица E, которая притягивается телом A, а жидкостью, заключенной как в AC, так и в AB, отталкивается, будет притягиваться к телу A с силой, которая равна $a - \frac{(Q+\alpha)r}{Q} - \frac{(Q-\beta)r'}{Q}$ (§§ 10, 12); так как $a - r - r' = 0$, то это выражение преобразуется в $\frac{\beta r' - \alpha r}{Q}$ или, что одно и то же, частица E будет отталкиваться от тела с силой $\frac{\alpha r - \beta r'}{Q}$. Если провести такое же вычисление для частицы D, то сила, притягивающая ее к телу A, будет равна $a - \frac{(Q+\alpha)r'}{Q} - \frac{(Q-\beta)r}{Q} = \frac{\beta r - \alpha r'}{Q}$. [19]

16. Если, далее, мы представим себе некую частицу жидкости F, находящуюся в середине тела около A, и снова сперва представим себе, что все тело A находится в естественном состоянии, то станет очевидным, что эта частица притягивается частицами, из которых состоит тело A, но это притяжение одинаково во всех направлениях и поэтому может считаться равным нулю. Точно так же эта частица отталкивается жидкостью, содержащейся как и в AC, так и в AB, и притом и той и другой, как это вполне ясно, с силой, равной r; однако эти силы, как равные и противоположные, взаимно друг друга уничтожают. Итак, частица F, пока тело A пребывает в естественном состоянии, не в большей мере стремится в одну, чем в другую сторону, и поэтому не обнаруживает стремления двигаться либо к B, либо к C. Если же мы примем, что количество электрической жидкости увеличивается в части AC, но уменьшается в AB, и обозначим чертеж теми же буквами, которыми пользовались в предшествующем параграфе, то станет вполне очевидным, что частица будет побуждаема к движению в направлении к опорожненной от жидкости части AB с силой, равной $\frac{\alpha r + \beta r}{Q}$. В самом деле, так как тело A не действует на частицу F, то нам для рассмотрения отталкиваний, испытываемых ею, следует исследовать только жидкость, содержащуюся в AC и AB. Жидкость,

заключенная в AC, толкает частицу F по направлению к B с силой, равной $\frac{(Q+\alpha)r}{Q}$ (§ 10); жидкость же, заключенная в AB, толкает ее в обратном направлении к C с силой, равной $\frac{(Q-\beta)r}{Q}$ (§ 10). Поэтому вся сила, толкающая частицу F в направлении к B, будет равна $\frac{(Q+\alpha)r-(Q-\beta)r}{Q}=\frac{\alpha r+\beta r}{Q}$.

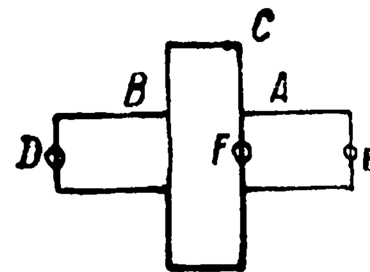
17. Отсюда ясно, что есть некоторая сила, под влиянием которой частица F принуждена оставить часть AC; отсюда следует, что должно происходить постоянное истечение частиц из части AC в AB, не прекращающееся до тех пор, пока жидкость не будет распределена равномерно по всему телу A и пока она не будет иметь равную плотность во всех точках тела. Так должно происходить, если нет никакой препятствующей причины. Поэтому в теле, которое не оказывает сопротивления движению жидкости в своих порах (таковы тела, неэлектрические по природе, и в некотором смысле мягкое железо), такое состояние не может долго держаться, если только оно не будет сохраняться вследствие воздействия какой-либо внешней причины. Если же движение жидкости в порах тела встречает сопротивление, то это состояние может удержаться некоторое время — тем дольше, чем это сопротивление больше, тем непродолжительней, чем оно меньше. Ведь фактический переход частицы F в часть AB не может иметь места, если сила, действующая на эту частицу, не будет столь велика, что превысит сопротивление. Поэтому о таком состоянии речь может итти почти только в применении к телам, электрическим по своей природе, или же, если можно употребить такое выражение, к телам, магнитным по своей природе; в прочих же телах оно без помощи какой-либо внешней силы не может сохраниться дольше одного мгновения, но стоит такой силе перестать действовать, как жидкость мгновенно распределится равномерно.

18. Далее, ясно из § 15, что частица жидкости E, находящаяся около C, будет принуждена к тому, чтобы оставить

тело и выйти наружу с силой, меньшей, чем та, воздействию которой она подвергалась бы, если бы часть AB была в такой же степени наполнена жидкостью, как и AC. Ведь в этом случае сила, побуждающая частицу E к удалению, была бы равна $\frac{\alpha(r+r')}{Q}$, как ясно из § 10, а это количество больше, чем та сила, воздействию которой подвергается частица, если из части тела AB удалена жидкость. В самом деле, ясно без дальнейших рассуждений, что количество $\frac{\alpha r-\beta r'}{Q}$ меньше, чем количество $\frac{\alpha(r+r')}{Q}$. Точно так же и сила, побуждающая частицу D, находящуюся около B, проникнуть в часть тела A, из которой удалена жидкость $\left(\text{а она, как мы нашли в § 15, равна } \frac{\beta r-\alpha r'}{Q}\right)$, меньше той силы, которая действовала бы, если бы все тело было наполнено жидкостью. Ибо в таком случае сила, побуждающая частицу D к проникновению в тело, была бы равна $\frac{\beta(r+r')}{Q}$ (§ 12), а это количество во всех случаях больше, чем $\frac{\beta r-\alpha r'}{Q}$.

19. Если тело A однажды приведено в такое состояние, то это состояние может быть уничтожено только двумя способами, как это без труда можно заключить из предшествующего: либо жидкость из части AC, в которой ее избыток, переходит в другую часть AB, в которой ее недостает, до тех пор, пока она не будет распределена равномерно по всему телу, или же она вытекает наружу из части AC и притекает извне в часть AB до тех пор, пока каждая часть не вернется в естественное состояние. Первый способ уничтожения этого состояния либо вообще не имеет места в телах, которые являются в достаточно высокой степени электрическими или магнитными по природе, т. е. в телах, в которых жидкость испытывает значительное сопротивление при прохождении по порам, либо, во всяком случае, он осуществляется очень постепенно. Поэтому, если мы предположим, что в состояние,

рассматриваемое здесь, будет приведено тело, являющееся в высокой степени электрическим или магнитным по природе, то можно не считаться с первым способом устранения этого состояния. Если же мы будем касаться только второго способа, то из предыдущего параграфа ясно, что при прочих равных условиях это состояние будет много дольше сохраняться и будет более прочным, чем в том случае, если бы жидкость была бы в избытке или в недостатке во всем теле A и в любой из его частей. Хотя и в нашем случае действуют силы, стремящиеся к разрушению этого состояния, но все же, как мы только что показали, эти силы значительно меньше по величине в том случае, когда жидкость в одной из частей тела A находится в избытке, а в другой одновременно находится в недостатке, чем она была бы, если бы жидкость либо находилась в избытке во всем теле, либо во всем теле была в недостатке.



Фиг. V.

20. Развернутые нами выше рассуждения верны также и для случая, когда имеются два близких друг к другу тела A и B (фиг. V), хотя бы это и были такие тела, которые допускают свободное движение жидкости в своих порах; требуется лишь, чтобы эти два тела соединяло между собою некое третье тело C, которое может оказать сопротивление передвижению жидкости из одного тела в другое. В этом случае, если в одном из этих тел, напр. в A, количество жидкости увеличится, а во втором, B, уменьшится, то частица жидкости F будет стремиться перейти из A в B, но промежуточное тело C воспрепятствует тому, чтобы этот переход действительно произошел. Точно так же и частица E побуждается к истечению из тела A, но с меньшей силой, чем в том случае, если бы тела B не было; равным же образом и частица D побуждается к тому, чтобы проникнуть в тело B, но с меньшей силой, чем если бы тела A не было вовсе. Если провести для этого случая вычисление таким же обра-

зом, как это было сделано в § 15 для тела, электрического по природе, одна часть которого наполнена жидкостью, а из другой части жидкость удалена, то мы придем к тем же формулам, которые там найдены; поэтому и те выводы, которые в дальнейшем сделаны из этих формул, будут иметь силу в равной мере для обоих случаев. Это настолько очевидно, что повторять примененные выше рассуждения и приспособлять их к данному случаю было бы напрасной потерей времени.

21. Поскольку α и β — неопределенные величины и могут принимать любое значение, то этим буквам могут быть по нашему усмотрению приданы такие значения, чтобы силы, под действием которых находятся частицы D и E (фиг. IV) и алгебраические выражения для которых найдены в § 15, либо равнялись нулю, либо были больше, либо меньше его. Если мы пожелаем сперва, чтобы сила, побуждающая частицу E к истечению, равнялась нулю, то надо принять, что $\beta r' - \alpha r = 0$ или $\beta = \frac{\alpha r}{r'}$; если это значение подставить в формулу, выражающую силу, действующую на D, то эта сила будет равна $\frac{\alpha\,[r^2 - (r')^2]}{Qr'}$. Если же требуется, чтобы исчезла сила, побуждающая к проникновению в тело частицы D, то будет $\beta r - \alpha r' = 0$, откуда $\beta = \frac{\alpha r'}{r}$, и сила, отталкивающая частицу E от тела A, будет равна $\frac{\alpha\,[(r')^2\, r^2]}{Qr}$. Отсюда следут также, что:

1) силы, действующие на частицы D и E, никогда не могут исчезнуть обе одновременно, но исчезает лишь одна из них. В самом деле, для того чтобы они исчезли обе одновременно, было бы необходимо, чтобы $r^2 - (r')^2$ было равно нулю, т. е. чтобы r было равно r'. Но это невозможно, так как r' всегда меньше, чем r. Ибо поскольку естественное количество жидкости в AB равно естественному количеству жидкости, содержащемуся в AC, но первое количество действует на частицу E на большем расстоянии, чем второе,

его действие на эту частицу по необходимости должно быть меньше, чем действие второй; сходный вывод можно сделать и для частицы D. Функциональной зависимости, согласно которой частицы электрической или магнитной жидкости взаимно отталкиваются, мы до сих пор не знаем. Однако сообразно аналогиям природы, которым она в других случаях имеет обыкновение следовать, и бесчисленным экспериментам, поставленным с магнитом и с наэлектризованными телами, мы заключаем, что интенсивность силы отталкивания в этих жидкостях уменьшается с увеличением расстояния;[20]

2) если сила, действующая на D, равна нулю, то сила, действующая на E и притягивающая эту частицу к телу A, будет отрицательной, а следовательно, отталкивающей;

3) если же, наоборот, сила, действующая на E, исчезнет, то сила, побуждающая частицу D двигаться к A, будет положительной, а следовательно, притягивающей.

Эти два последние положения вытекают непосредственно из того, что, как перед тем было показано, r' всегда меньше, чем r.

22. Если далее мы пожелаем, чтобы сила, с которой частица E притягивается, была больше нуля, то необходимо допустить, что $\beta r' - \alpha r$ — положительная величина, или что $\beta r'$ больше, чем αr, откуда получим $\beta > \frac{\alpha r}{r'}$.

Итак, если предположим, что μ есть некоторая положительная величина, то может быть принято $\beta = \frac{\alpha r}{r'} + \mu$. Если теперь мы подставим это значение в формулу для силы, притягивающей частицу D, то эта сила будет равна $\frac{\alpha [r^2 - (r')^2]}{Qr'} + \frac{\mu r}{Q}$, откуда следует, что сила, действующая на частицу E — положительная и что другая сила, действующая на D, также положительная, причем она также больше, чем $\frac{\alpha [r^2 - (r')^2]}{Qr'}$. Если же сила, действующая на частицу E, должна быть отталкивающей, то выражение $\beta r' - \alpha r$ должно быть

отрицательным, откуда получим $\alpha r > \beta r'$ и $\beta = \frac{\alpha r}{r'} - \mu$. Подставив это значение в формулу для силы, действующей на D, получим, что эта сила равна $\frac{\alpha[r^2 - (r')^2]}{Qr'} - \frac{\mu r}{Q}$. Эта величина всегда меньше, чем $\frac{\alpha[r^2 - (r')^2]}{Qr'}$, но сообразно различной величине количества μ она может быть и положительной, и отрицательной, и равной нулю.

23. Если сходным же образом мы будем рассматривать силу, действующую на D, и сперва пожелаем, чтобы она была притягивающей, то следует допустить, что $\beta r - \alpha r'$ — положительная величина, откуда выводим, что $\beta = \frac{\alpha r'}{r} + \mu$; это значение, подставленное в формулу для силы, действующей на E, делает ее равной $\frac{\alpha[(r')^2 - r^2]}{Qr} + \frac{\mu r'}{Q}$, откуда заключаем, что эта сила, соответственно различной величине количества μ, может быть или равной нулю, или положительной, или отрицательной, соответственно тому, будет ли положительная величина $\frac{\mu r'}{Q}$ равной отрицательной величине $\frac{\alpha[(r')^2 - r^2]}{Q}$ или больше, или меньше ее. И, наконец, если сила, действующая на D, должна быть отрицательной и отталкивающей, то следует принять, что $\beta r - \alpha r'$ отрицательно, откуда получится $\beta = \frac{\alpha r'}{r} - \mu$; подставив это значение в формулу для силы, действующей на E, получим, что она равна $\frac{\alpha[(r')^2 - r^2]}{Qr} - \frac{\mu r'}{Q}$; это количество всегда отрицательное, так как $(r')^2 - r^2$ — отрицательная величина.

24. Сопоставив все случаи, которые мы рассматривали в предыдущих параграфах, замечаем, насколько разнообразны состояния, в которые может быть приведено тело, рассматриваемое здесь, т. е. тело, одна часть которого опорожнена от жидкости, тогда как в другой части ее избыток; все эти состояния, однако, могут быть для удобства сведены в четыре следующих класса:

1) одна часть не притягивает и не отталкивает жидкости, тогда как другая ее явным образом или притягивает, или отталкивает;

2) тело в обеих частях отталкивает жидкость;

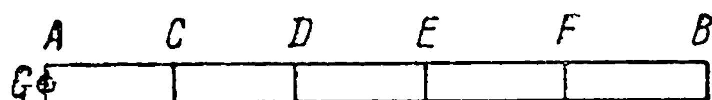
3) тело в обеих частях притягивает жидкость;

4) наконец, тело в одной части отталкивает жидкость, а в другой — притягивает.

Примеры на все эти случаи, достойные быть отмеченными, читатели найдут в дальнейшем тексте. То, что я здесь доказал для одного тела, в одной части которого избыток жидкости, а в другой — недостаток, сохраняет силу также и для двух тел, если они соединены между собой способом, описанным мною в § 20. Это очевидно и не нуждается в особом исследовании.

25. Прежде чем мы перейдем к другим вопросам, следует еще отметить, что предположение, которое мы в § 15 сделали для удобства расчета, — будто в одной части тела избыток жидкости, тогда как в другой — ее недостаток и что она при этом равномерно распределена внутри каждой из этих частей, вряд ли может когда-либо иметь место в природе, — во всяком случае лишь очень редко. Совершенно очевидно, что, хотя в части AB или части AC, целиком взятых, имеется избыток или недостаток жидкости, эта жидкость может быть в то же время не одной и той же плотности в разных точках этих частей; такое неравномерное распределение внутри каждой части может быть осуществлено бесконечным числом различных способов. Произвести расчет для такого рода случаев невозможно. Действительно, этот закон варьирования плотности жидкости в разных местах может видоизменяться бесчисленными способами; прежде чем будет открыта функциональная зависимость, согласно которой происходят притяжения и отталкивания электрической или магнитной жидкости, даже если будет найден закон плотностей, из него нельзя будет сделать никаких выводов.[21] Поэтому я и рассматривал только тот случай, для которого

расчет может быть легко произведен. Но читатели заметят, однако, без труда, что если только будет избыток жидкости в части AC, а в части AB — недостаток, то даже в том случае, если она не будет распределена равномерно, выводы, которые можно сделать отсюда, будут сходны с теми, которые я нашел на основании произвольного предположения о равномерном распределении. Поэтому то, что я выше доказал, может быть перенесено без опасения сделать ошибку и на те случаи, когда жидкость распределена неравномерно. Так, ясно также и то, что и в том случае, когда части AC и AB не равны друг другу, как я предположил выше, но между ними есть та или иная разница, тем не менее получится результат, сходный с тем, который имеет силу для случая, когда эти части равны друг другу.



Фиг. VI.

26. Если далее некоторое тело находится в таком состоянии, что оно обладает одновременно и положительным и отрицательным электричеством или и тем и другим магнетизмом, то нет необходимости в том, чтобы, как я выше принял, в одной половине его был избыток жидкости, а в другой в то же время — недостаток. Кроме этого случая возможны бесчисленные другие случаи. Так, можно представить себе тело AB (фиг. VI) разделенным на любое количество частей, напр. на пять, и при этом возможно, что в части AC жидкость в избытке, в части CD — в недостатке, в DE — опять в избытке, в EF — опять в недостатке, и т. д. Раз только тело AB приведено в такое состояние, а тело является электрическим по природе или магнитным по природе, то это состояние может в нем сохраниться или, по крайней мере, удерживаться в течение достаточно долгого промежутка времени. Ясно, что это состояние не может прекратиться без фактического продвижения жидкости через поры тела; а так как при принятых предпосылках это продвижение должно встретить сопротивление, то

вполне может получиться так, что это состояние сохранится в течение значительного времени.

27. Так как в дальнейшем будут разбираться некоторые случаи, сюда относящиеся, то мы постараемся извлечь некоторое общее правило для действия, производимого телом, приведенным в такое состояние, на соседние с ним частицы жидкости. Итак, пусть G — некоторая частица жидкости, находящаяся у оконечности тела A; пусть сначала будет сделано допущение, что все тело AB находится в естественном состоянии, пусть частица G отталкивается жидкостью, содержащейся в AC, с силой r, жидкостью, содержащейся в CD, с силой r', жидкостью, содержащейся в DE, с силой r'', и т. д., и пусть естественное количество жидкости, приходящейся на каждую из частей AC, CD, DE и т. д., равно Q. Примем далее, что в AC избыток жидкости над Q равен количесту a, CD — количеству b, в DE — количеству c; если мы ту силу, с которой каждая часть в отдельности притягивает частицу G, определим по методу, применяемому в § 10, и образуем сумму всех этих сил, то вся та сила, с которой тело AB притягивает частицу G, будет равна $\frac{ar + br' + cr'' \text{ и т. д.}}{Q}$. При применении этой формулы к частным случаям необходимо обратить внимание на то, что если в какой-либо из частей жидкость находится не в избытке, а в недостатке, то букве, обозначающей избыточное количество в этой части, следует придать отрицательное значение. Ведь одно и то же, сказать ли, что в какой-либо части есть недостаток количества, равный $+\alpha$, или избыток количества, равный $-\alpha$. Если, напр., эта общая формула будет применена для случаев, рассмотренных в § 15, и для действия на D будет подставлено $a = -\beta$, $b = +\alpha$, $\gamma = 0$, и т. д., то получатся те же формулы, которые были выведены выше.

28. После того как мы подробно рассмотрели те три состояния, в которых могут оказаться тела в отношении

электричества или магнетизма, надо постараться вывести те законы, согласно которым тела, оказавшиеся в том или ином состоянии, действуют друг на друга. Для этого представим себе два тела A и B (фиг. II), близкие друг к другу, и предположим сначала, что они находятся в естественном состоянии. Теперь для определения взаимодействия этих тел мы разложим все действие тела A на тело B как бы на две части. Ясно, что тело A, наполненное жидкостью до насыщения, т. е. до естественного состояния, действует, во-первых, на жидкость, заключенную в тело B, а во-вторых, на тело B, или на материю в собственном смысле, из которой состоит тело B. Первое из этих действий, согласно положениям, установленным нами в §§ 1 и 3, снова может быть разделено на два действия. Ибо жидкость, заключенная в A, отталкивает жидкость, содержащуюся в B, а само тело A притягивает эту жидкость; поэтому, если обозначить первое действие через r, а второе через a, то все это действие будет равно $a-r$, иными словами, жидкость, содержащаяся в B, притягивается к телу A с силой, которая равна $a-r$. Если же, далее, мы будем изучать действие на само тело B, или на материю, из которой состоит тело B, то его можно теперь определить на основании выставленных выше положений: жидкость, содержащаяся в A, будет его притягивать, причем эту силу притяжения мы принимаем равной A. Но далее можно поставить вопрос: не следует ли принять также, что и сама материя тела A, в собственном смысле, будет действовать на материю тела B, в собственном смысле? Пока мы не ответим на этот вопрос, примем, что материя тела A, в собственном смысле, притягивает ту материю, из которой состоит тело B, с силой, равной x, и в этом случае действие, которое материя тела A, в собственном смысле, производит на тело B и жидкость, содержащуюся в нем, будет равно $A+x$, а следовательно, вся сила, с которой тело A притягивает тело B и, наоборот, второе притягивает первое, будет равна $a-r+A+x$.

29. Так как мы ввели в расчет величину x по нашему усмотрению, то необходимо исследовать, какое значение следует придать этой величине — равна ли она нулю, или положительная, или же отрицательная. Если верно первое, то станет ясно, что никакого взаимодействия между материей тел, в особенном смысле, нет; если x окажется положительным, то придется притти к выводу, что тела A и B, или, вернее, их материя, в собственном смысле, притягивают друг друга; если же, наконец, отрицательным, то они отталкивают друг друга. Но выше (§§ 6 и 7) мы доказали, что тело, находящееся в естественном состоянии, т. е. содержащее естественное количество жидкости, не оказывает никакого действия на другие частицы жидкости, расположенные вне тела; поэтому, поскольку мы здесь приняли что тело A находится в естественном состоянии, мы получаем уравнение $a-r=0$. Далее, как мы указали (§ 8), опыт свидетельствует, что два тела, каждое из которых содержит естественное количество магнитной или электрической жидкости, не оказывают никакого действия друг на друга, — во всяком случае они не оказывают друг на друга такого действия, которое можно было бы приписать электричеству или магнетизму. Итак, в нашем случае будет $a-r+A+x=0$. Если же мы это уравнение сопоставим с прежде найденным $a-r=0$, то получим $A+x=0$, или $x=-A$.

30. Отсюда мы можем непосредственно вывести различные, достойные внимания, заключения. Прежде всего ясно, что $A=a$. Чтобы сделать это очевидным, допустим, что масса тела A равна M, что естественное количество жидкости, содержащейся в A, равно Q, что, соответственно, масса тела $B=m$, и естественное количество жидкости, приходящейся на это тело, равно q. Так как действия тел всегда относятся друг к другу, как их массы, то отношение a к A будет равно сложному отношению M к m и q к Q, откуда получим пропорцию $a:A=Mq:mQ$, и $A=\frac{amQ}{Mq}$.

Но так как и A и B находятся в естественном состоянии, то, очевидно, $M:m=Q:q$, или $Mq=mQ$; если это уравнение соединить с уравнением для A, получим $A=a$. Далее, из доказанного в предыдущем параграфе следует, что четыре величины a, r, A и $-x$ равны между собой. Действительно, так как выше я доказал, что $a=r$, а $A=-x$, а только что показано, что $A=a$, то ясно, что $a=r=$ $=A=-x$. Из доказанных положений следует:

1) что материя (в собственном смысле) каких бы то ни было известных нам до сих пор тел отталкивается друг от друга. Ибо в предыдущем параграфе мы нашли, что значение величины x, каковой буквой мы выше обозначили это действие, отрицательное;

2) так как, кроме того, опыт показывает, что два тела, находящиеся в естественном состоянии, не оказывают друг на друга никакого действия, которое можно было бы приписать электричеству или магнетизму, независимо от того находятся ли эти тела в непосредственной близости или отделены друг от друга каким бы то ни было промежутком, то отсюда следует, что, каково бы ни было расстояние между телами, силы a, r, A и $-x$ всегда остаются равными друг другу. Но так как эти силы меняются с изменением расстояния, то отсюда следует, что любая из них претерпевает одно и то же изменение вследствие изменения расстояния, так как иначе их равенство не могло бы оставаться в силе при любом расстоянии. Следовательно, силы, о которых мы здесь неоднократно говорили, не только являются одной и той же функцией расстояний, но, кроме того, при равных расстояниях всегда имеют одну и ту же интенсивность. Я указываю здесь лишь в общем виде, что функциональные зависимости, на основании которых происходят разбираемые здесь действия, одни и те же. Но определить эти функциональные зависимости я пока что не решаюсь. Впрочем, если бы понадобилось произвести выбор между различными функциями, то я охотно утверждал бы, что эти

величины изменяются обратно пропорционально квадратам расстояний. Это можно предположить с некоторым правдоподобием, ибо в пользу такой зависимости, повидимому, говорит аналогия с другими явлениями природы.[22]

31. Из тех предложений, на которых я здесь остановился, утверждение, что материя (в собственном смысле) каких угодно тел взаимно отталкивается, вероятно, покажется читателям слишком трудным для того, чтобы его можно было легко усвоить. Признаюсь, что когда я впервые пришел к нему (а это было в самом начале моих занятий, когда я только что стал обдумывать франклинову теорию электричества), оно меня в некотором роде даже испугало. Но после того, как я стал замечать, что в нем не содержится ничего такого, что противоречило бы соответствию с деятельностью природы, я легко с ним освоился. Говоря по правде, мы наблюдаем в природе бесчисленное количество случаев, когда мы обнаруживаем находящиеся в телах силы притяжения или отталкивания: поэтому нечего бояться отнести новую открытую здесь присущую телам силу к числу первоначальных и основных сил природы. Вначале меня особенно огорчало то, что это предложение на первый взгляд диаметрально противоположно некоему другому всеобщему закону природы, открытому Ньютоном, в силу которого утверждается, что тела притягиваются друг к другу согласно сложному отношению, составленному из прямого отношения масс и обратного отношения квадратов расстояния. Но я успокоился тем не менее без особого труда. Так как отталкивание, о котором я говорил, в силу действия магнитной или электрической жидкости приводится точно к нулю в телах, содержащих естественное количество этих жидкостей, то остальные действия тел, каковы бы они ни были, не претерпевают от него никаких изменений, но остаются совершенно такими же, какими они были бы, если бы никакого отталкивания не существовало. Отсюда вытекает

следующее: всегда можно считать, что этой силы совершенно не существует, исключая лишь тот случай, когда речь идет о явлениях, вызванных действием электричества или магнетизма; отсюда ясно, что Ньютоново всемирное тяготение и притяжение не терпит ущерба и в том случае, если даже делается допущение, что такого рода отталкивание существует. Если же тем не менее кто-либо увидел бы некое скрытое противоречие в моем допущении существования телесной материи, одновременно обладающей двумя противоположными друг другу силами, отталкивающей и притягивающей, то пусть он примет во внимание, что я не считаю ни силы отталкивания, открытой мною здесь, ни силы притяжения, называемой всемирным тяготением, силами, присущими материи по ее природе, но привнесенными. Поэтому ясно, что меня нельзя обвинить в противоречии: я не утверждаю, что эти противоположные друг другу силы присущи одному и тому же субъекту по природе, но хотя я и не знаю, какие средства применяет природа для произведения этих сил, для меня несомненно, что и та и другая сила имеют какую-то внешнюю причину. Но нет никакого противоречия в том, что одно и то же тело одновременно и в один и тот же момент подвергается действию двух внешних сил, противоположных друг другу.

32. Теперь попробуем пойти дальше в раскрытии законов действия тел, обладающих электричеством или магнетизмом. Итак, допустим, что из двух тел A и B (фиг. II) одно, B, находится еще в естественном состоянии, тогда как другое, A, наполнено уже жидкостью сверх естественного количества; обозначим естественное количество жидкости для первого тела через q, для второго — через Q. Так как в теле A имеется избыток количества жидкости, примем, что количество жидкости в теле A равно $Q+\alpha$. Если мы теперь будем рассматривать действие тел друг на друга, или (так как в силу известного закона природы, оно отличается взаимностью) действие тела B на тело A и на жидкость, содер-

жащуюся в A, то ясно, что оно состоит: из действия жидкости, находящейся в B, как на жидкость, содержащуюся в A, так и на самую материю (в собственном смысле) тела A, и из действия материи (в собственном смысле) тела B как на материю (в собственном смысле) тела A, так и на жидкость, заключенную в теле A. Поэтому, если мы сохраним обозначения, принятые в § 28, но вместо x будем ставить букву R, и затем будем производить расчет, то станет ясно, что в разбираемом случае действуют следующие силы:

1) жидкость, содержащаяся в B, количество которой равно q, притягивает материю (в собственном смысле) тела A с силой, равной a;

2) та же жидкость отталкивает жидкость, содержащуюся в A, т. е. $Q+\alpha$, с силой, равной $\frac{Qr+\alpha r}{Q}$. Так как притягивающие и отталкивающие силы в телах всегда пропорциональны массам, то получится, что Q так относится к $Q+\alpha$, как r — к той силе, с которой отталкивается $Q+\alpha$;

3) материя (в собственном смысле) тела B притягивает жидкость, содержающуюся в A, с силой, равной $\frac{QA+\alpha A}{Q}$;

4) и, наконец, материя (в собственном смысле) тела B отталкивает материю (в собственном смысле) тела A с силой, равной R.

Если теперь суммировать выражения для этих четырех сил, получится, что вся сила, с которой тело B притягивает тело A, и наоборот, равна $a+\frac{QA+\alpha A}{Q}-\frac{Qr+\alpha r}{Q}-R$. Но так как, согласно § 29, $a+A-r-R=0$, то эта сила притяжения равна $\frac{\alpha A}{Q}-\frac{\alpha r}{Q}$. Но $A=r$ (§ 30), откуда эта сила равна $\frac{\alpha r}{Q}-\frac{\alpha r}{Q}=0$. Итак, сила, с которой тела A и B притягивают друг друга, равна нулю, и эти тела друг на друга не производят никакого действия. Теперь, наоборот, предположим, что тело B все еще находится в естественном состоянии, но что в теле A жидкость не находится в избытке,

а количество жидкости в нем уменьшилось ниже естественного. В этом случае формула, найденная для предшествующего случая, может быть применена и для этого; надо только взять α отрицательным. Тогда получается, что сила, с которой тела притягивают друг друга, равна $\frac{\alpha r}{Q} - \frac{\alpha A}{Q} = \frac{\alpha r}{Q} - \frac{\alpha r}{Q} = 0$; значит, и в этом случае действие тел A и B друг на друга будет равно нулю. То же получается, если найти силу притяжения тел A и B прямым путем, которым мы пользовались для предшествующего случая.

33. Эти доказательства приводят к следующим предложениям:

1) пока тело содержит естественное количество электрической жидкости, иными словами, пока оно находится в естественном состоянии, оно не притягивается и не отталкивается другими телами, будь они положительно- или отрицательно-электрические или находящиеся в естественном состоянии; этого рода тело не испытывает никакого действия, которое можно было бы приписать электричеству;

2) железо или какое угодно сходное с железом тело, пока оно не обладает никакой магнитной силой, не притягивается и не отталкивается магнитом, т. е. магнит действует только на другой магнит или на такое железо, которое уже приобрело магнитную силу.

Эти предложения, без сомнения, покажутся несостоятельными большинству физиков, особенно же любому из последователей Франклина, которые недостаточно глубоко обдумали выводы, следующие из системы Франклина, и которые поэтому вместе с самим знаменитым Франклином считают правилом, подтвержденным опытом, что тела как положительно-, так и отрицательно-электрические притягивают всегда какие угодно другие тела, не обладающие электричеством. Но как бы несостоятельными и противоречащими ежедневному опыту ни должны были бы казаться эти мои утверждения, тем не менее их необходимо считать абсолютно

правильными. Они не только вытекают из основных начал франклиновой теории с такой необходимостью, что если они неверны, то должна будет отпасть вся теория Франклина, но и с опытом они согласуются так хорошо, что уже на основании одной только этой теории физики должны были бы притти к этим законам, если бы они обратили достаточное внимание на все привходящие обстоятельства. Ниже, когда я эти, раскрытые здесь, общие начала теории применю к явлениям электричества и магнетизма, будет уместно дать более подробное изложение вопроса. Чтобы читатели не были слишком смущены тем, что уже в самом начале этого исследования они встречаются с предложениями, которые неизбежно должны казаться противоречащими опыту, я укажу на то, что ниже я с полной очевидностью докажу, что ни одно тело, находящееся в естественном состоянии, не может приблизиться к другому телу, будь оно положительно-электрическим или отрицательно-электрическим, без того, чтобы и оно само не вышло из естественного состояния и не стало электрическим. Поэтому неудивительно, что на первых порах должны были ошибиться те, которые поставили опыты с электричеством, ибо они наблюдали, что при приближении тела, находящегося в естественном состоянии, к любому наэлектризованному телу оно испытывало притяжение. Так как они совершенно не знали и даже не подозревали, что это тело, благодаря одному лишь приближению к другому наэлектризованному телу, само может стать наэлектризованным, они вряд ли могли избежать построения ошибочного правила, будто тела, находящиеся в естественном состоянии, притягиваются наэлектризованными телами.[23] Но как хорошо совпадает опыт с моей теорией и насколько правильны мои неожиданные утверждения, читатели смогут предсказать уже на основании одного того, что, как я покажу ниже, действие наэлектризованных тел будет меньшим, если оно распространяется на тела, которые либо по своей природе, либо вследствие внешнего препят-

ствия становятся электрическими, и бо́льшим, если тела, приближающиеся к наэлектризованному телу, могут быть без труда наэлектризованы; наоборот, притяжение совершенно прекращается, как этого и требует теория, если возникновение электричества в теле, которое приближается к наэлектризованному телу, прекращается, встречая сопротивление. Наконец, ниже читатели увидят также, что в наэлектризованных телах наблюдается явление, которое следовало бы считать противоречивым и противоречащим первоосновам разума, если не принять моих рассуждений; наоборот, при принятии этих утверждений, они не представляют никаких трудностей. Совершенно в таком же положении находится дело с магнетизмом. Ибо железо, находящееся в естественном состоянии, при приближении к магниту немедленно само становится магнитом: оно притягивается лишь после того, как оно получило магнитную силу. Во всем прочем здесь имеет полную силу все то, что имеет силу для электричества. Ибо тела, которые намагничиваются лишь с трудом, слабее притягиваются магнитом, а тела, которые легко приобретают магнетизм, притягиваются магнитом сильнее, а если возникновение магнетизма в железе, находящемся рядом с магнитом, встречает непреодолимое сопротивление, то также и притяжения никакого не будет.

Наконец, и в магните встречается то же самое явление, которое, как я выше показал, наблюдается в наэлектризованных телах и которое совершенно необъяснимо, если не применять моих предпосылок.

34. Следующие замечания смогут в некоторой степени рассеять сомнения читателей; но я обещаю, что ниже все те, которые до сих пор еще относятся к этому делу с недоверием, получат полное удовлетворение. Теперь же мы перейдем к дальнейшему раскрытию законов действия наэлектризованных и магнетических тел. Сохраним буквы, употребленные в §§ 29 и 32, и на этот раз примем, что как в теле A, так и в B (фиг. II) имеется избыток количества жидкости

по сравнению с естественным. В этом случае количество жидкости, содержащейся в A, поскольку оно превышает естественное количество, можно принять равным $Q+\alpha$; точно так же количество жидкости в B можно обозначить как $q+\delta$. Если мы теперь определим те четыре силы, из которых составляется все действие тел A и B друг на друга, то мы получим для них следующие выражения:

1) жидкость в B притягивает массу тела A с силой, которая равна $\frac{qa+\delta a}{q}$;

2) та же жидкость отталкивает жидкость, содержащуюся в A, с силой, равной $\frac{(Q+\alpha)(q+\delta)r}{Qq}$;

3) масса тела B притягивает жидкость, содержащуюся в A, с силой, равной $\frac{QA+\alpha A}{Q}$;

4) масса тела B отталкивает массу тела A с силой, равной R.

Итак, вся сила, с которой эти тела взаимно притягиваются, равна $a+A-r-R+\frac{\delta a}{q}+\frac{\alpha A}{Q}-\frac{q\alpha r+Q\delta r+\alpha\delta r}{Qq}$; так как $a+A-r-R=0$ (§ 23), а величины a, A, r и R равны между собой (§ 30), то это выражение приводится к виду $-\frac{\alpha\delta r}{Qq}$. Поскольку эта формула отрицательная, она показывает, что притяжение переходит в отталкивание и что тела A и B, в случае, если в обоих избыток жидкости, взаимно отталкиваются.

35. Если примем, что в двух телах A и B количество жидкости уменьшилось, став меньше естественного, то только что выведенная формула может быть применена к этому случаю, если как α, так и δ будут приняты отрицательными. В этом случае окажется, что сила, с которой тела A и B притягиваются друг другом, так же как и в предыдущем случае, равна $\frac{\alpha\delta r}{Qq}$, откуда следует, что два тела, в каждом из которых недостает жидкости, также отталкивают друг

друга. Если же, наконец, в теле A избыток жидкости, а в B — недостаток, то, подставив величину δ в формулу, выведенную в предыдущем параграфе, с отрицательным знаком, а величину α с положительным, получим формулу, соответствующую этому случаю.

Итак, сила, с которой в этом случае притягиваются тела, равна $+\frac{\alpha\delta r}{Qq}$; так как эта сила положительная, то следует сделать вывод, что тела взаимно притягиваются. Совершенно тот же результат получается, если найти формулы для разобранных здесь случаев прямым путем, как это сделано в предыдущем параграфе.

36. Итак, общие правила, с помощью которых определяются действия тел друг на друга, зависящие от магнетизма и электричества, таковы:

1) если либо каждое из двух тел, либо, по крайней мере, одно из них находится в естественном состоянии, то не происходит никакого взаимодействия между ними;

2) если в обоих телах избыток жидкости или в обоих — недостаток, то тела отталкиваются друг от друга;

3) если в одном из двух тел избыток жидкости, а в другом — недостаток, то тела притягивают друг друга.

Этих правил достаточно для определения действий тел, если в каждом из них целиком либо избыток жидкости, либо недостаток.

Остается рассмотреть также действие тел, имеющее место в том случае, когда либо одно из двух тел, либо каждое из них находится в таком состоянии, что в одной части его избыток жидкости, а в другой — недостаток. Эти случаи таковы, что они открывают путь к объяснению большой части магнитных явлений; поэтому они заслуживают с нашей стороны особенно тщательного рассмотрения.

37. Сохраним в этом исследовании обозначения, принятые в § 15. Если мы теперь представим себе сперва некоторую расположенную в середине тела A частицу f (фиг. IV) материи,

из которой состоит тело A, то она, правда, отталкивается и частью AC и частью AB (§ 30), но обеими частями в равной мере; поэтому эта сила, исходя с обеих сторон, сама себя уничтожает и становится равной нулю. Но такого рода частица f притягивается жидкостью, содержащейся в AC, с силой, равной $\frac{(Q+\alpha)r}{Q}$ (§ 30), а жидкостью, содержащейся в AB, с силой, равной $\frac{(Q-\beta)r}{Q}$, следовательно она побуждается к движению по направлению B с силой, равной $\frac{(Q-\beta)r-(Q+\alpha)r}{Q}=-\frac{\alpha r+\beta r}{Q}$. Но так как эта сила отрицательная, то ясно, что такого рода частица тела A побуждается к движению по направлению к C с силой, равной $\frac{(\alpha+\beta)r}{Q}$. Итак, очевидно, что частица тела находится под действием той же силы, которой приводится в движение частица F (§ 16), и между ними нет никакой разницы, кроме того, что сила, действующая на частицу f, имеет отрицательный знак, а сила, действующая на частицу F, — положительный.

38. Если, далее, к части AC приблизить некоторое тело G, у которого естественное количество жидкости равно q, то очень легко рассчитать, каково действие тела A на это тело. Если тот избыток, на который количество жидкости в теле G превышает естественное количество q, назвать δ, то тело G будет притягиваться к одной лишь части AC с силой, равной $-\frac{\alpha\delta r}{Qq}$, а к одной лишь части AB с силой, равной $+\frac{\alpha\delta r'}{Qq}$, как непосредственно следует из §§ 34 и 35. Итак, все притяжение тела G к телу A будет равно $\frac{(\beta r'-\alpha r)\delta}{Qq}$. При помощи совершенно сходного рассуждения можно найти, что сила, с которой часть AB притягивает смежное с ней тело H, равна $+\frac{\beta\delta r}{Qq}$, а сила, с которой ее притягивает часть AC, равна $-\frac{\alpha\delta r}{Qq}$; следовательно, вся сила, с которой H притягивается телом A, равна $\frac{(\beta r-\alpha r')\delta}{Qq}$.

39. Если примем, что тело G или H содержит только естественное количество жидкости, то получится, что $\delta = 0$; следовательно, при таком допущении силы притяжения, действующие как на тело G, так и на тело H, из коих первая, как мы нашли, равна $\frac{(\beta r' - \alpha r)\delta}{Qq}$, а вторая равна $\frac{(\beta r - \alpha r')\delta}{Qq}$, становятся равными нулю. Итак, тело A ни своей частью AC, в которой имеется избыток жидкости, ни частью AB, в которой имеется ее недостаток, не производит взаимного действия на другие тела, находящиеся в естественном состоянии. Пусть теперь, наконец, в теле G имеется недостаточное количество жидкости; тогда, придав δ отрицательное значение в формуле, выведенной в предыдущем параграфе, получим, что $\frac{(\alpha r - \beta r')\delta}{Qq}$ равно силе, с которой в этом случае тело G притягивается к телу A. Равным образом, если придать δ отрицательное значение в формуле для действия на H, то эта формула преобразуется в формулу для случая, когда в теле H недостаточное количество жидкости; значит, эта сила равна $\frac{(\alpha r' - \beta r)\delta}{Qq}$.

40. Так как зависимость между α и β — неопределенная, то мы можем определить ее произвольно и сделать из предыдущих уравнений различные выводы. Так, выше (§§ 21, 22, 23, 24) мы показали, что в связи с принятием различной зависимости между α и β, части тела A — как AC, так и AB — или вовсе не действуют на частицы жидкости, или притягивают их, или отталкивают их. Поэтому можно поставить вопрос, каким образом тело A действует на смежные с ним тела в каждом из этих состояний. Отвечая на этот вопрос, отметим, что прежде всего из предыдущего параграфа очевидно, что какую бы мы ни приняли зависимость между α и β и в каком бы состоянии ни находилось тело A, его действие на тела G и H, если они будут находиться в естественном состоянии, будет равно нулю. Так как этот случай не представляет трудностей, то нам нужно обратить преимущественное внимание на прочие случаи, о которых мы говорили в §§ 38 и 39.

41. Общие формулы, найденные там, могут быть без труда применены к любому рассматриваемому здесь случаю: Необходимо лишь ввести принимаемую нами зависимость между α и β в эти формулы. Произведя это, получим следующие формулы:

I

Для части *AC*, в которой жидкость находится в избытке

Состояние тела *A*	Состояние тела *B*	Сила, с которой притягивается *G*	
Если часть *AC* не действует на жидкость, причем $\beta = \frac{\alpha r}{r'}$ (§ 21)	При избытке жидкости в *G*	0	0
В том же случае	При недостатке жидкости в *G*	0	0
Если часть *AC* притягивает жидкость, причем $\beta = \mu + \frac{\alpha r}{r'}$ (§ 22)	При избытке жидкости в *G*	$\frac{+\mu\delta r'}{Qq}$	Положительный
В том же случае	При недостатке жидкости в *G*	$\frac{-\mu\delta r'}{Qq}$	Отрицательный
Если часть *AC* отталкивает жидкость, причем $\beta = \frac{\alpha r}{r'} \mu$ (§ 22)	При избытке жидкости в *G*	$\frac{-\mu\delta r'}{Qq}$	Отрицательный
В том же случае	При недостатке жидкости в *G*	$\frac{+\mu\delta r'}{Qq}$	Положительный

II

Для части *AB*, в которой жидкость находится в недостатке

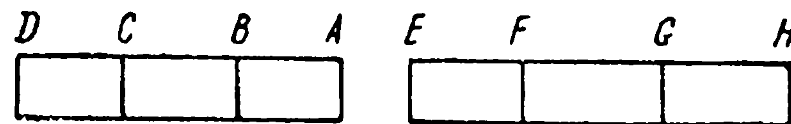
Состояние тела *A*	Состояние тела *B*	Сила, с которой притягивается *H*	
Если часть *AC* не действует на жидкость, причем $\beta = \frac{\alpha r'}{r}$ (§ 21)	**При избытке жидкости в *H***	**0**	**0**
В том же случае	**При недостатке жидкости в *H***	**0**	**0**
Если часть *AC* притягивает жидкость, причем $\beta = \frac{\alpha r'}{r} + \mu$ (§ 23)	**При избытке жидкости в *H***	$\frac{+\mu\delta r}{Qq}$	**Положительный**
В том же случае	**При недостатке жидкости в *H***	$\frac{-\mu\delta r}{Qq}$	**Отрицательный**
Если часть *AC* отталкивает жидкость, причем $\beta = \frac{\alpha r'}{r} - \mu$ (§ 23)	**При избытке жидкости в *H***	$\frac{-\mu\delta r}{Qq}$	**Отрицательный**
В том же случае	**При недостатке жидкости в *H***	$\frac{+\mu\delta r}{Qq}$	**Положительный**

42. Сравнив между собой полученные выводы и формулы, которые я дал в двух таблицах предыдущего параграфа, мы убедимся в верности следующих правил:

1) тело A не действует совершенно на тела, находящиеся в естественном состоянии;

2) если одна из двух частей тела A находится в таком состоянии, что совершенно не действует на частицы жидкости, то эта часть его действует так, как если бы она находилась в естественном состоянии (§ 36);

3) если какая бы то ни было часть тела A отталкивает частицы жидкости, то она действует на другие тела совершенно так же, как обычно действует тело, в котором избыток жидкости: она в этом случае притягивает тела, в которых недостаток жидкости, и отталкивает те тела, в которых избыток жидкости (§ 36);



Фиг. VII.

4) если одна из двух частей тела притягивает частицы жидкости, то эта часть действует на другие тела так, как обычно ведет себя тело, в котором недостаток жидкости (§ 36), т. е. отталкивает тела, в которых недостаток жидкости, и притягивает те тела, в которых избыток жидкости.

43. Нам остается еще в заключение произвести исследование о взаимодействии двух тел, из которых каждое находится в таком состоянии, что в некоторой его части избыток жидкости, тогда как в другой — недостаток. Чтобы не было необходимости заниматься разбором отдельных случаев, мы сразу же выведем общую формулу, которую мы сможем в дальнейшем применять в том из них, который может представиться. Итак, представим себе, что два тела AD и EH (фиг. VII) находятся рядом друг с другом и что каждое из них разделено на три равные части. Достаточно вывести формулу только для этого случая, ибо в дальнейшем мы не встретимся ни с какими другими случаями, кроме тех,

которые могут быть без труда выведены из этих формул. Итак, пусть естественное количество жидкости, приходящейся на части AB, BC и CD, равно Q, а естественное количество жидкости в частях EF, FG и GH другого тела пусть будет обозначено q. Примем далее, что каждое из двух тел, находясь в естественном состоянии, действует:

Жидкость,	содержащаяся в	AB,	на	жидкость,	содержащуюся в	EF,	с силой	r
—	—	BC	—	—	—	—	—	r'
—	—	CD	—	—	—	—	—	r''
—	—	AB	—	—	—	FG	—	ρ
—	—	BC	—	—	—	—	—	ρ'
—	—	CD	—	—	—	—	—	ρ''
—	—	AB	—	—	—	GH	—	$\mathfrak{r}$
—	—	BC	—	—	—	—	—	$\mathfrak{r}'$
—	—	CD	—	—	—	—	—	$\mathfrak{r}''$

И, наконец, пусть избыток количества жидкости сверх естественного количества

в	AB	равен	a
—	BC	—	b
—	CD	—	c
—	EF	—	e
—	FG	—	f
—	GH	—	g

Если теперь с помощью § 34 определим действие, которое каждая часть тела AD производит на каждую часть тела EH, то найдем:

Действие	части	BA	на	часть	EF	равно	$\frac{-aer}{Qq}$
—	—	BC	—	—	—	—	$\frac{-ber'}{Qq}$
—	—	CD	—	—	—	—	$\frac{-cer'}{Qq}$
—	—	AB	—	—	FG	—	$\frac{-af\rho}{Qq}$

Действие части	BC	на часть FG	равно	$\frac{-bf\rho'}{Qq}$
—	— CD	— — —	—	$\frac{-cf\rho''}{Qq}$
—	— AB	— — GH	—	$\frac{-ag\mathfrak{r}}{Qq}$
—	— BC	— — —	—	$\frac{-bg\mathfrak{r}'}{Qq}$
—	— CD	— — —	—	$\frac{-cg\mathfrak{r}''}{Qq}$

Суммируя эти выражения, получим, что вся сила, с которой тела AD и EH притягивают друг друга, равна

$$\frac{-(ar+br'+cr'')\,e-(a\rho+b\rho'+c\rho'')\,f-(a\mathfrak{r}+b\mathfrak{r}'+c\mathfrak{r}'')\,g}{Qq}.$$

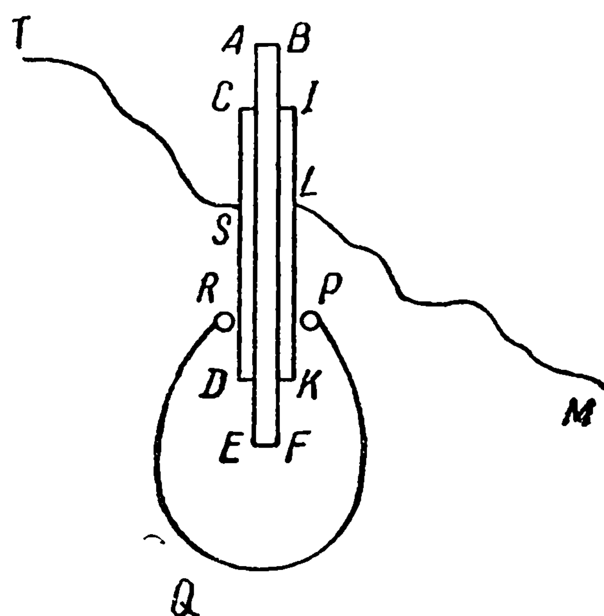
Мы сможем применить эту формулу без труда для любого случая, если вместо букв a, b, c, d, e, f, g подставим соответствующие им значения, которые будут отрицательными, если жидкость в какой-либо части находится не в избытке, а в недостатке.

44. После того, как установлены общие начала всеобщей теории магнетизма и электричества, необходимо применить их к явлениям того и другого рода. Прежде всего, руководясь ими, легко получить объяснение большей степени электрических явлений, особенно же Лейденской или Мушенбрёковой банки.[24]

Моя задача состоит не в том, чтобы дать подробное объяснение всех относящихся сюда явлений, но, помня цель этого сочинения, я остановлюсь лишь на наиболее замечательных из них и, как можно полагать, объясненных другими авторами не столь четко, как это можно сделать с помощью выведенных здесь основоположений. Особенно же тщательно я буду здесь исследовать то, что важно для более отчетливого изложения теории магнетизма; по этой причине я и начну

свое изложение с исследования опыта с потрясением и с рассмотрения Лейденской банки.

45. Так как форма стекла, которое применяется для опыта с потрясением, не может иметь значения для успеха опыта, то в дальнейшем мы примем, что вместо обычно применяемой банки взята плоская стеклянная пластинка, при применении которой этот опыт так же хорошо удается, как с сосудом, имеющим форму банки. Итак, пусть $ABEF$ (фиг. VIII) — стеклянная пластина, как обычно, обложенная с обеих сторон металлическими листами IK и CD. Пусть лист IK соприкасается с некоторым телом, неэлектрическим по природе, которое изображено на чертеже в виде провода LM; пусть это тело не поставлено на тела, электрические по своей природе, но связано с земным шаром через посредство других тел, неэлектрических по природе. Пусть на передний лист CD электричество передается обычным способом при помощи провода или проволоки TS, проводящей электричество. Теперь, если каким угодно способом, с помощью шара или электризующей трубки, положительное электричество вступит в соединение с проводом TS, то и лист CD наполнится электрической материей. Пусть количество электрической жидкости, накопленной таким способом на листе CD, превышает естественное количество на α, а частицы электрической жидкости, которые находятся на листе IK, пусть отталкиваются (если сохранить обозначения, принятые в § 15) с силой, равной $\frac{ar'}{Q}$ (§ 10). Итак, эти частицы, поскольку в данном случае этому ничто не препятствует, должны уйти в провод LM и через его посредство вытечь наружу; это истечение может прекратиться только в том случае, если с листа IK будет



Фиг. VIII.

в такой мере удалено электричество, что сила, действующая на частицы, находящиеся вокруг него, станет равной нулю. Но если принять, что количество жидкости, вытекшей из листа IK, равно β, то эта сила равна $\frac{\beta r - \alpha r'}{Q}$ (§ 15), поэтому истечение прекратится только после того, как станет $\beta = \frac{\alpha r'}{r}$, а в этом случае сила, с которой отталкиваются частицы, находящиеся близ листа CD, будет равна $\frac{\alpha[(r')^2 - r^2]}{Qr}$ (§ 21). Таким образом, если электризация будет продолжаться, на листе CD электрическая материя будет непрерывно накопляться во все большем количестве, а с противоположного листа IK будет все больше уходить, так как сила, действующая на частицы электрической жидкости, смежные с листом IK, всегда будет становиться равной нулю. Однако это накопление не может продолжаться до бесконечности. Действительно, так как сила $\frac{\alpha[(r')^2 - r^2]}{Qr}$ с возрастанием α непрерывно возрастает, то эта сила, побуждающая частицы к удалению из листа CD, должна, наконец, стать столь большой, что в дальнейшем становится уже недостаточным то сопротивление, которое оказывает распространению электрической жидкости окружающий воздух (будучи электрическим по природе, он лишь с трудом допускает жидкость в свои поры); поэтому теперь все то, что накопляется сверх этого предела, должно снова само по себе улетучиваться.

46. Допустим, наоборот, что с листом CD соединяется отрицательное электричество; в этом случае, ввиду удаления электричества с листа CD, ясно, что частицы электрической жидкости, находящиеся возле второго листа IK, притягиваются к нему; они проникают через провод LM и должны в нем накопляться. Пусть количество электрической жидкости, удаленной с листа CD, равно β; сила, притягивающая частицы жидкости к листу IK, равна $\frac{\beta r'}{Q}$ (§ 12). Теперь уже приток электрической жидкости к листу IK не может прекратиться

прежде чем электрической жидкости проникнет в этот лист столько, что сила, производящая приток электричества, станет равной нулю; т. е. (так как эта сила равна $\frac{\beta r' - \alpha r}{Q}$, где α означает количество жидкости, проникшее в лист IK) прежде чем β не станет равно $\frac{\alpha r}{r'}$. Но тогда сила, с которой притягиваются частицы, находящиеся вблизи другого листа CD, равна $\frac{\alpha [r^2 - (r')^2]}{Qr'}$ (§ 21). В остальном здесь получится результат, сходный с полученным для предыдущего случая, а именно, удаление электричества с листа CD может продолжаться до известного предела, но не до бесконечности. В самом деле, сила притяжения листа CD, равная $\frac{\alpha [r^2 - (r')^2]}{Qr'}$, должна в конце концов стать такою, что воздух, препятствующий проникновению в лист электрической материи, не будет уже в состоянии оказывать противодействие, вследствие чего в конце концов в пластинку CD станет проникать против воли экспериментатора столько же электрической жидкости, сколько ее будет уноситься под влиянием электризации.

47. Здесь я подверг рассмотрению только металлические листы, покрывающие обе поверхности стеклянной пластины, но не принял во внимание самой стеклянной пластины. Очевидно, однако, что с ее поверхностями произойдет то же, что, как я показал, имело место для листов CD и IK. В самом деле, в то время, как на одном из листов накопляется электрическая жидкость, а с другого удаляется, ввиду тесного соприкосновения листов с поверхностями пластины, электрическая жидкость неизбежно будет проникать на одну из поверхностей пластины и удаляться со второй. Действительно, хотя стекло и является электрическим по природе, но оно не является таковым в полной мере, и электрическая жидкость не пребывает совершенно неподвижной в его порах, но движется, встречая впрочем значительное сопротивление. Поэтому не может случиться так, чтобы, напр., на листе CD накапли-

валась электрическая жидкость, без того, чтобы некоторые ее части не проникали на поверхность пластины; точно так же и с листа *IK* электричество не может удалиться без того, чтобы некоторая часть электрической жидкости не перешла с поверхности пластины на лист *IK*. Поэтому нетрудно убедиться, что в случае, рассмотренном нами в § 45, жидкость собирается на поверхности *AE* стеклянной пластины, а с другой поверхности *BF* удаляется, а в том случае, который мы рассматривали в § 46, — в обратном порядке: с поверхности *AE* пластины жидкость удаляется, в то время как противоположная поверхность *BF* наполняется жидкостью. Итак, то, что было доказано в §§ 45 и 46 для металлических листов *CD* и *IK*, и то, что мы еще докажем ниже для них, на основании начал, относящихся к ним, все это в равной мере будет в силе и для соответствующих каждому листу поверхностей стеклянной пластины, проложенной между ними; без опасения сделать ошибку можно переносить все эти формулы и на эти поверхности.

48. Прежде всего отсюда следует, что на поверхности *AE* Лейденской банки и на покрывающем ее металлическом листе *CD* электрическая жидкость сможет в гораздо большей степени и накопляться, чем удаляться, и что это может произойти, когда аппарат Мушенбрёка не применяется, а электризация производится без его помощи. В самом деле, если электризуется только лист *CD* и если накопленное в нем количество электрической жидкости при положительной электризации равно α, то сила, побуждающая частицы жидкости к удалению из листа, будет равна $\frac{\alpha r}{Q}$ (§ 10). При наличии же аппарата Мушенбрёка эта отталкивающая сила равна $\frac{\alpha[r^2-(r')^2]}{Qr}$ (§ 45). Примем для первого случая, что эта отталкивающая сила будет наибольшей, какой только она может быть, если $\alpha=\gamma$, а для второго случая, когда применяется Лейденская банка, пусть эта сила получает свое предельное значение, когда α настолько возрастет, что

получит значение δ. Так как и та и другая сила таковы, что преодолевают одно и то же сопротивление (§ 45), то будут равны между собой: $\frac{\gamma r}{Q} = \frac{\delta [r^2 - (r')^2]}{Qr}$, откуда получим $\delta = \frac{\gamma r^2}{r^2 - (r')^2}$. Но так как $\frac{\gamma r^2}{r^2 - (r')^2}$ больше, чем γ, то ясно, что накопление электрической жидкости в листе *CD* может быть в случае применения Лейденской банки значительно бо́льшим, чем в том случае, если электризация производится без ее применения. Эти рассуждения могут быть перенесены на случай, когда листу *CD* передается отрицательное электричество; это так просто, что нет нужды особо говорить о применении к этому случаю. Итак, если производится отрицательная электризация, то удаление электричества с листа *CD* можно точно так же довести до гораздо большей степени при применении аппарата Мушенбрёка, чем это может быть сделано, если электризуется только лист *CD*.

49. С этими рассуждениями, выведенными теоретически, поразительно совпадают данные опыта. В самом деле, каждому, кто когда-либо присутствовал при постановке опытов с электричеством, прекрасно известно следующее: если электризуются цепочки или подвешенные бруски и весь электрический прибор без применения банки Мушенбрёка, трех или четырех оборотов шара для электризации вполне достаточно для того, чтобы передать прибору наивысшую степень электричества, на какую он только способен;[25] результат дальнейших оборотов состоит уже не в том, чтобы увеличить степень электричества, но лишь в том, чтобы его сохранять. Если же, наоборот, будет применена Лейденская банка, то дело уже будет совсем не так обстоять, чтобы три или четыре поворота шара могли произвести наивысшую степень электричества; наоборот, даже после тысячи оборотов электризация сможет еще увеличиваться, особенно, если применяется банка, имеющая обширную поверхность и тонкие стенки.

50. Я сказал: „Если банка имеет тонкие стенки“. В самом деле, легко можно показать, что, если пластина *ABEF* будет

тоньше, то при прочих равных условиях возможно накопление электричества большее, чем если она имеет бо́льшую толщину. Действительно, хотя из § 48 ясно, что δ всегда больше, чем γ, однако легко понять, что δ тем больше превышает γ, чем более уменьшается количество $r^2-(r')^2$, т. е. чем более r' приближается к равенству с r. Но из сказанного в § 21 ясно, что r' тем менее будет отличаться от r, чем менее отстоят друг от друга листы *CD* и *IK*, т. е. чем меньше толщина проложенной между ними пластины. С этим связано и объяснение следующего: почему при помощи банки, сделанной из более тонкого стекла, может быть получено потрясение гораздо более сильное, чем с помощью банки из более толстого стекла, как это показал уже давно естествоиспытателям опыт? Действительно, ниже я обстоятельно покажу, что сила электрического потрясения зависит, главным образом, от степени сгущения электрической жидкости.[26]

51. Обычно в Лейденской банке наблюдаются некоторые явления, которые парадоксальны на первый взгляд и, как может показаться, вряд ли могут быть приведены в согласие с франклиновой теорией этого опыта. Это — следующие явления.

1) После того как Лейденская банка наполнена электричеством, внешний лист *IK* не обнаруживает никаких признаков электричества. Он не вызывает искр из других, ненаэлектризованных тел и не притягивает легкие тела находящиеся поблизости, как это обычно бывает с другими, наэлектризованными телами. Однако, по всей видимости, должно было иметь место и то и другое. В самом деле, если опыт был поставлен так, как указано в § 45, то, согласно теории Франклина, из листа *IK* должна была удалиться электрическая жидкость и он должен был бы быть в большой степени отрицательно-электрическим.

2) Хотя, согласно теории Франклина, лист *CD* и является в высокой степени положительно-электрическим, — в значительно большей степени, чем это когда-либо могло бы

произойти без применения банки — тем не менее, он обнаруживает лишь слабые признаки электричества по сравнению с той степенью электричества, которой обладает. Если электризация не будет продолжаться очень долго, то эти признаки вряд ли будут даже такими, какие были бы без применения аппарата Мушенбрёка. Он не выбрасывает искр на сколько-нибудь значительное расстояние и либо вовсе не притягивает легких тел, либо притягивает их лишь весьма слабо.

52. Эти явления без труда объясняются из нашей теории. Действительно, так как сила, с которой лист IK притягивает электрическую жидкость, находящуюся вне его, сделана равной нулю (§ 45), то дело обстоит совершенно так, как если бы этот лист находился в естественном состоянии; поэтому он не обнаруживает никакой силы, притягивающей электрическую жидкость, заключенную в порах других смежных с ним тел. Поэтому и не может произойти то, чтобы жидкость, оставляя тело этого рода, перешла в лист IK и создала искру. По той же причине в нем нельзя наблюдать каких бы то ни было электрических притяжений или отталкиваний, что в достаточной мере ясно из § 42, пункта 2.

53. Что же касается листа CD, то, хотя сам он является в сильнейшей степени положительно-электрическим, однако, он может обнаруживать лишь слабые признаки электричества. В самом деле, сила, с которой этот лист, имея избыток электрической жидкости, отталкивает эту жидкость, равна $\frac{\alpha[r^2-(r')^2]}{Qr}$. Таким образом, она все время меньше, чем была бы, если бы лист был наполнен электрической жидкостью до той же степени без помощи аппарата Мушенбрёка, ибо в этом случае сила отталкивания была бы равна $\frac{\alpha r}{Q}$. Поэтому в первом случае электрическая жидкость будет извергаться из тела с бо́льшим трудом и с бо́льшим трудом будет давать искру, чем в последнем. Однако легко

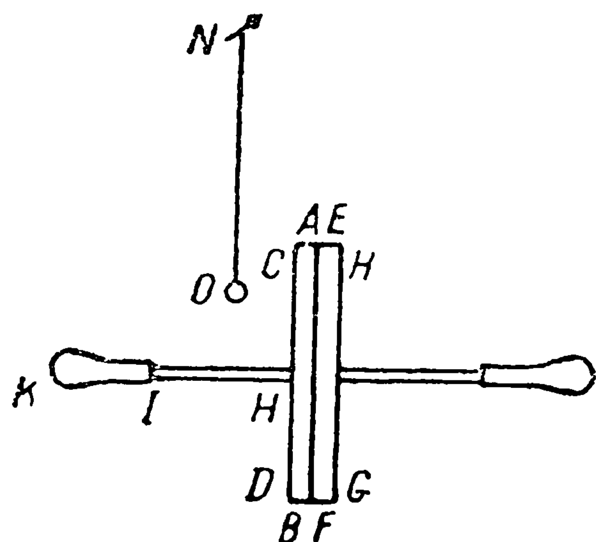
понять, что электрические притяжения и отталкивания, вызываемые листом в первом случае, должны быть слабее, чем во втором. В самом деле, отталкивание, с которым лист AC действует при применении аппарата Мушенбрёка на другое тело, если в этом теле количество жидкости превышает естественное на количество, равное δ, согласно § 38, равно $\frac{(\alpha r - \beta r')\,\delta}{Qq}$; отсюда, после подстановки значения, которое β имеет в этом случае (§ 45), т. е. значения $\frac{\alpha r'}{r}$, получается, что отталкивание в нашем случае равно $\frac{\alpha\,[r^2 - (r')^2]\,\delta}{Qqr}$. Если же мы произведем расчет для случая, когда Лейденская банка не применяется, сила отталкивания листа CD будет равна $\frac{\alpha\delta r}{Qq}$ (§ 34). Поскольку $\frac{r^2 - (r')^2}{r}$ меньше, чем r, вторая сила, само собой разумеется, значительно превышает первую.

54. Но хотя лист CD обнаруживает лишь слабое проявление электричества, нельзя довести дело до того, чтобы он вовсе не обнаруживал никаких таких проявлений. Это могло бы произойти, как видно из §§ 21, 38 и 42, только в том случае, если бы r' было равно r; но первая величина, в силу необходимости, всегда меньше второй (§ 21). Однако же сила, с которой лист CD отталкивает электрическую жидкость и действует на другие тела, может стать столь малой, что станет совершенно неощутимой и с точки зрения наших чувств равной нулю. Именно это и происходит в том случае, когда r' очень мало отличается от r, а это бывает, если листы CD и IK и продолженная между ними стеклянная пластина $ABEF$ весьма тонки (§ 21). Однако в Лейденской банке вряд ли может быть когда-либо достигнут такой результат, чтобы с обеих сторон действие электричества было совершенно незаметным; ведь в силу необходимости между двумя металлическими листами (или телами, применяемыми вместо них) должна быть проложена стеклянная пластина,

которая не может быть настолько тонкой, чтобы эта цель была достигнута.

Мне встретились также некоторые другие относящиеся сюда случаи, при которых, хотя бы и было получено достаточно сильное электричество, оно, тем не менее, не обнаруживается ни по каким признакам. Мне кажется, что эти опыты, подобных которым я не нашел у других авторов, заслуживают быть описанными несколько подробнее.

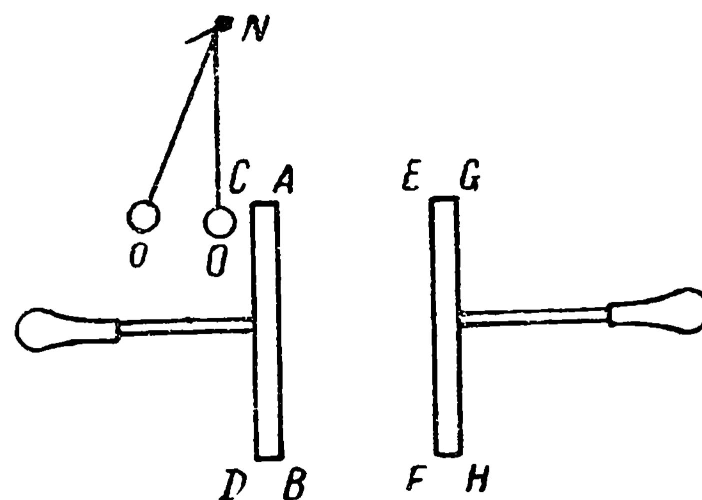
55. Возьмем две пластинки зеркального стекла *AB* и *EG* (фиг. IX), равные друг другу и какого угодно очертания, с поверхностью в несколько квадратных дюймов. К каждой из них при помощи сургуча приклеивается ручка *KIH*, состоящая из стеклянного цилиндра *HI* средней толщины, имеющего в длину приблизительно 3 дюйма, и из деревянной ручки *IK*. Их нужно затем тщательно вытереть — как пластинки, так и цилиндры, — а если во время постановки опыта воздух сырой и наполнен парами, то и высушить и прогреть на огне. Надо приготовить также подвес *NO*, состоящий из одной, хорошо высушенной, шелковой нити,[27] — какую обычно плетет шелкопряд — и из маленького пробкового шарика величиной примерно с зерно чечевицы; этот шарик должен быть немного смочен, а подвес должен свободно качаться. Стеклянные пластинки, о которых мы говорили, надо потереть друг о друга несколько раз. Если теперь эти пластинки после натирания не отделить друг от друга, но оставить в соприкосновении, и если их приблизить к подвесу *NO*, то они не обнаруживают никакого признака электричества и совершенно не действуют на подвес. Если же одна из пластинок будет отделена от другой, а затем любую из них в отдельности приблизить к подвесу, то обна-



Фиг. IX

руживается, что она наэлектризована: сперва она сильно притянет, а затем оттолкнет. Если снова сложить или соединить пластинки, сразу же электричество уничтожается, а если вслед за этим снова отделить их друг от друга, электричество снова возбуждается в каждой из них; этот опыт можно повторять почти бесчисленное количество раз. Но хотя здесь каждая из пластинок вследствие трения их друг о друга становится электрической, тем не менее электричество в них никогда не бывает одного и того же рода, но одна из них приобретает положительное электричество, а другая — отрицательное.

56. После того, как, благодаря трению друг о друга, эти пластинки станут электрическими, отделим их друг от друга и приблизим одну из них к подвесу *NO*. Тогда она притянет подвес, а после того, как передаст то электричество, которым она обладает, шарику *O*, оттолкнет его. Теперь будем держать эту пластинку *ABCD* в положении, изображенном на фиг. X, так, чтобы подвес, вследствие отталкивания его задней стороной пластинки, пришел в положение *NO*. Далее, будем держать вторую пластинку *EFGH* в положении, параллельном положению первой, на расстоянии 3 или 4 дюймов. Если теперь пластинку *EFGH* придвинуть ко второй пластинке *ABCD* на 1—2 пальца ближе, то подвес *NO* начнет опускаться; если же удалить пластинку *EFGH*, то он снова поднимется на прежнюю высоту. Таким способом можно заставить подвес подыматься или опускаться сколько угодно раз, в зависимости от того, будет ли пластинка *EFGH* отдаляться на большее расстояние от второй пластинки *ABCD* или же будет к ней больше приближаться.

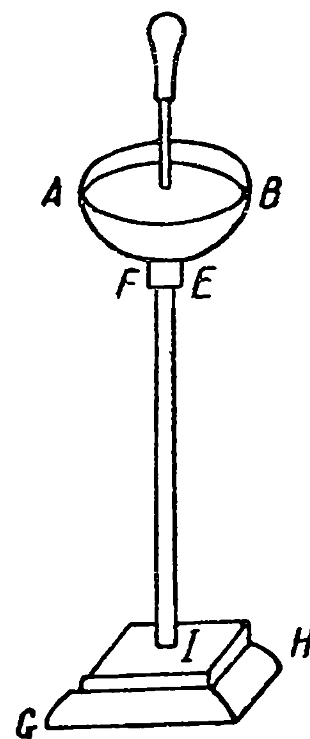


Фиг. X.

57. Если пластинки, о которых мы уже неоднократно говорили, сперва потрем друг о друга описанным способом, затем у одной из них, — например той, которая приобрела положительное электричество, — отнимем все электричество путем приведения ее в соприкосновение с каким-нибудь телом, неэлектрическим по своей природе, а затем снова потрем их одну об другую, то, будучи соединены между собой и приведены в соприкосновение, они не обнаружат уже, как ранее, полного отсутствия электричества, но будут вести себя так, как если бы они обладали отрицательным электричеством. Противоположное этому произойдет, если отнять электричество у пластинки, которая обладала отрицательным электричеством: в этом случае пластинки, будучи соединены, обнаружат положительное электричество. Тем не менее, и в этом и в другом случае, если отделить пластинки одну от другой, то одна из них будет, как в предыдущем опыте, положительно-электрической, а другая — отрицательно-электрической.

58. Для постановки этих опытов нет необходимости брать именно две стеклянные пластинки: какие угодно другие две тонкие пластинки, каковы бы они ни были и из какой бы материи они ни состояли, произведут как раз те же явления. Опыт совершенно так же удастся, независимо от того, будут ли обе пластинки стеклянные — или если одна из них, или обе будут сделаны из расплавленной серы или из металла, и если вторая будет из серы или из сургуча — или из какого угодно другого материала. Итак, этот опыт можно видоизменять бесчисленным количеством способов, и ни в одном случае не приходится бояться, что он не удастся, лишь бы соблюдалось то правило, чтобы обе пластинки или же, по крайней мере, одна из них состояла из какой-либо материи, электрической по природе. В самом деле, если ни одна из двух пластинок не будет электрической по своей природе, то, как известно, трением друг о друга никогда нельзя получить электричество; наоборот, очевидно, что если даже

предположить, что получится электричество, то оно в этом случае все же мгновенно и сразу же уничтожится. В самом деле, если принять, что, напр., пластинка *ABCD* (фиг. IX) приобрела положительное, а вторая пластинка *HGEF* — отрицательное электричество, то при соприкосновении пластинок, избыток жидкости в *ABCD* будет вынуждаться к переходу во вторую пластинку *EFGH*, из которой удалено электричество, как очевидно из § 16. Если же при этом обе пластинки будут неэлектрическими по своей природе, то электрическая жидкость, не встречая никакого сопротивления свободному передвижению в порах этих тел, должна будет подчиниться этому принуждению и, действительно, перейти из *ABCD* в *EFGH*: неизбежным результатом этого будет мгновенное уничтожение электричества в той и другой пластинке.



Фиг. XI.

59. Сходные явления я получил еще и другим способом. Из тонкого листа — оловянного или латунного — я велел изготовить чашу *AB* (фиг. XI), имеющую форму шарового сегмента, с которой при помощи клея был скреплен полый цилиндр *FE*. Эту чашу я поставил на подпорку *EFGH*, состоящую из деревянной квадратной подставки *GH* и стеклянного цилиндра *EF*. В чашу я налил расплавленную серу и к ней, после того как она остыла и затвердела, приклеил ручку такого рода, какую я описал в § 55. Пока серный сегмент был соединен с чашей, не наблюдалось никаких следов электричества. Но как только сера отделялась от чаши, и та и другая оказывались активно электрическими, и то самое электричество которое совершенно уничтожалось, как только серный сегмент погружался в чашу, сразу же снова возбуждалось, если эти тела снова отделялись друг от друга. В этом случае сера и чаша всегда обнаруживали противоположные электричества, но сера в некоторых

случаях обладала положительным, а в других — отрицательным электричеством. В первом случае, если я по удалении серы прикасался к чаше пальцем и таким образом уничтожал отрицательное электричество, которое она при этом приобретала, то весь прибор действовал так, как если бы он был положительно-электрическим, хотя по разделении серы и чаши первая становилась положительно-электрической, а вторая — отрицательно-электрической. Если же сера с самого начала приобретала отрицательное электричество и если я действовал при постановке опыта таким же способом, то и результат был такой же, с той лишь разницей, что после соединения серы и чаши весь прибор действовал, как если бы он был отрицательно-электрическим.[28]

60. Все рассмотренные здесь явления прекрасно согласуются с изложенной выше теорией. В самом деле, если тереть друг о друга пластинки, описанные в § 55, то некоторая часть электрической жидкости, которую мы будем называть γ, перейдет из одной в другую. Избыток ее количества в одной из пластинок, напр. в *ABCD*, равен недостатку ее количества в другой пластинке *EFGH*; поэтому (если мы будем применять обозначения принятые в § 15) сила, с которой пластинка *ABCD* отталкивает жидкость, в то время как пластинки удерживаются в параллельном положении, равна $\frac{\gamma(r-r')}{Q}$, а сила, с которой *EFGH* ее притягивает, равная первой, вследствие этого также равна $\frac{\gamma(r-r')}{Q}$ (§ 15). Если же теперь приблизим пластинки друг к другу, то r' все более и более приблизится к равенству с r, вследствие чего теперь сила, действующая на жидкость, должна уменьшиться в обеих пластинках. Если же они совершенно прикоснутся друг к другу, то, вследствие тесного соприкосновения обеих пластинок, r' уже не будет отличаться доступным чувствам образом от r, вследствие чего в этом случае сила, с которой каждая из пластинок действует на жидкость, станет равной нулю.

61. Если мы естественное количество электрической жидкости, приходящейся на шарик подвеса O, назовем q и избыток электрической жидкости, находящейся в нем, примем равным по количеству δ, то сила, с которой пластинки, удерживаемые в параллельном положении, действуют на подвес в том случае, когда положительно-электрическая пластинка ближе к подвесу, равна $\frac{\gamma\delta(r-r')}{Qq}$, а если к подвесу будет ближе отрицательно-электрическая пластинка, то эта сила равна $\frac{\gamma\delta(r-r')}{Qq}$ (§§ 38, 39). Но каким бы ни было δ, положительным или отрицательным, очевидно, что эти действия будут тем меньшими, чем меньше r' отличается от r, и стали бы совершенно равными нулю, если бы r' стал совершенно равным r. Отсюда становится непосредственно ясной причина явления, описанного в § 56, и не менее легко по той же причине понять, почему пластинки не обнаруживают почти никаких электрических притяжений и отталкиваний в то время, как они соприкасаются друг с другом (§ 55). Это последнее явление я считаю весьма достопримечательным. Ибо оно учит нас, что весьма часто в природе фактически получается электричество и, тем не менее, оно не обнаруживается никаким признаком, вследствие чего мы вправе считать, что на ряд явлений электричество влияет даже в тех случаях, когда мы не имеем ни малейшего подозрения о его присутствии.

62. Поставим опыт тем способом, который был описан в § 57, отняв у одной из пластинок, после натирания ее, электричество; пусть в первом случае это будет та пластинка, которая обладала положительным электричеством. В этом случае после первого натирания получится тот результат, что в этой пластинке количество электрической жидкости станет $Q+\gamma$, а во второй $Q-\gamma$. Когда в первой пластинке электричество уничтожается, она снова приходит в естественное состояние, и количество электрической жидкости, содержащейся в ней, становится снова равным Q. Затем,

при втором натирании, снова некоторая часть электрической жидкости переходит с отрицательно-электрической пластинки на другую; если это количество назвать ε, то количество электрической жидкости на первой пластинке будет $Q+\varepsilon$, а на второй $Q-\gamma-\varepsilon$. Следовательно, в то время как пластинки удерживаются в параллельном положении, сила, с которой положительно электрическая пластинка притягивает жидкость, будет равна $\frac{\gamma r'-\varepsilon r'-\varepsilon r}{Q}$, а отрицательно-электрическая притягивает ее с силой, равной $\frac{\gamma r+\varepsilon r-\varepsilon r'}{Q}$ (§ 15). Далее, сила, с которой первая пластинка притягивает подвес, равна $\frac{(\gamma r'+\varepsilon r'-\varepsilon r)\,\delta}{Qq}$, а сила, с которой притягивает подвес вторая, равна $\frac{(\gamma r+\varepsilon r-\varepsilon r')\,\delta}{Qq}$ (§ 38). Но очевидно, что если r' становится равным r, то эти силы не становятся равными нулю, но первые две становятся равными $+\frac{\gamma r'}{Q}$ и $+\frac{\gamma r}{Q}$, а вторые $+\frac{\gamma\delta r'}{Qq}$ и $+\frac{\gamma\delta r}{Qq}$; поэтому последние положительные, если δ положительно, и отрицательные, если δ отрицательно. Итак, теперь ясна причина, почему пластинки, будучи соединенными, действуют совершенно так, как если бы их совокупность вся была отрицательно-электрической (§§ 12, 35).

63. Сходен расчет и для второго случая. Действительно, если электричество отрицательно-электрической пластинки уничтожается, то количество электрической жидкости, находящейся в ней, после того как оно снова приведено в естественное состояние, становится равным Q. Итак, в то время как вследствие нового натирания некоторое количество электрической жидкости переходит с этой пластинки на вторую (это количество назовем ε), количество жидкости на отрицательно-электрической пластинке становится $Q-\varepsilon$, а на положительно-электрической $Q+\gamma+\varepsilon$, откуда получаются следующие силы: та сила, с которой (если пластинки

остаются в параллельном положении) положительно-электрическая пластинка притягивает жидкость, равна $\frac{\varepsilon r' - \gamma r - \varepsilon r}{Q}$, а для отрицательно-электрической пластинки равна $\frac{\varepsilon r - \gamma r' - \varepsilon r'}{Q}$ (§ 15). Далее, силы, с которыми пластинки притягивают шарик подвеса NO, следующие: для положительно-электрической пластинки она равна $\frac{(\varepsilon r' - \gamma r - \varepsilon r)\,\delta}{Qq}$, а для отрицательно-электрической пластинки она равна $\frac{(\varepsilon r - \gamma r' - \varepsilon r')\,\delta}{Qq}$. Из этих сил первые, когда r становится равным r', становятся равными $\frac{-\gamma r'}{Q}$ и $\frac{-\gamma r}{Q}$, вторые $\frac{\gamma \delta r'}{Qq}$ и $\frac{-\gamma \delta r}{Qq}$; эти величины становятся отрицательными, если δ положительно, и положительными, если δ отрицательно. Результатом этого является то, что соединенные пластинки действуют так, как если бы их совокупность была положительно-электрической (§§ 10, 34, 35).

64. Сказанное здесь можно без труда применить к опытам, описанным в § 59, вследствие чего нет нужды заниматься специальным их исследованием. Правда, у читателей может вызвать сомнение то обстоятельство, что шаровой сегмент из серы не тонок, но весьма толст; поэтому кажется, что в этом случае r' никогда не может вполне достигнуть значения r. Но необходимо отметить, что этот сегмент из серы приобретает электричество только на поверхности, которой он соприкасается с чашей, и что это электричество проникает лишь на незначительное расстояние вглубь от поверхности. Электрическая жидкость, находясь в ней в избытке, проникнуть глубже в самое вещество серы не может, поскольку сера в высшей степени электрическая по своей природе; точно так же, если на поверхности недостаток электрической жидкости, она не может перейти из внутренних частей серы на поверхность. Итак, электричество куска серы находится только на его крайней поверхности, которая достаточно тонка, чтобы можно было принять, что при соприкосновении с чашей получается $r' = r$.

65. Кроме того, замечательным следует считать явление, имеющее место в Лейденской банке, состоящее в том, что электричество при ней сохраняется прочно и гораздо длительнее, чем если ее не применять. В самом деле, электричество в ней остается в течение многих дней, даже в течение целых недель, в то время как в телах, наэлектризованных без банки Мушенбрёка, это электричество вряд ли может удержаться долее четверти или получаса. Причина этого явления так резко бросается в глаза, что, повидимому, не стоит труда ее здесь излагать. В самом деле, во-первых, как это показано в § 48, на пластинке CD накопляется такое количество электрической жидкости, какое без применения Лейденской банки никаким иным способом не может проникнуть в тело; во-вторых, сила, стремящаяся удалить избыток количества жидкости в случае применения Лейденской банки, меньше, чем та, которая стремится к удалению жидкости, если электризация проведена без применения банки, как я доказал в § 48. И та и другая причины обусловливают более длительное сохранение электричества, ибо само собой очевидно, что электричество будет оставаться в течение тем большего времени, чем больше избыток количества жидкости в теле и чем в то же время меньше сила, стремящаяся удалить эту жидкость. В то же время отсюда ясно также, что при прочих равных условиях электричество в Лейденской банке и в других случаях, относящихся сюда, должно держаться тем дольше, чем менее r' отличается от r, ибо чем меньше эта разница, тем сильнее действуют обе причины, обусловливающие устойчивость электричества. Итак, в тех случаях, которые я описал в §§ 55 и 59, электричество держится очень долго вследствие того, что разность между r' и r, с точки зрения наших чувств, почти становится равной нулю. С этим рассуждением удивительно совпадают данные опыта, при помощи которого не только я, но уже давно очень многие обнаружили, что при указанных условиях электричество вряд ли когда-либо уничтожится. Так,

напр., если расплавленную серу влить в сухое стекло и только через несколько месяцев или даже через несколько лет вынуть застывшую серу из него, то в ней еще можно обнаружить электричество.

66. Но хотя стойкость электричества в Лейденской банке, предоставленной самой себе, очень велика, однако может получиться так, что она уничтожается вследствие одного лишь акта и в один лишь миг. Это происходит при постановке столь же удивительного, сколько достопримечательного опыта электрического потрясения, который послужил для естествоиспытателей главным поводом для тщательного исследования явлений, происходящих в Лейденской банке. Чтобы надлежащим образом показать, каким путем результат этого опыта может быть выведен из изложенной нами теории, допустим, что, после того как банка наполнена электричеством и приведена в то состояние, которое мы описали в § 45, изогнутая металлическая проволока PQR (фиг. VIII) или вместо нее какое угодно другое тело, неэлектрическое по своей природе, прикасается одним своим концом P к листу IK. Ясно, прежде всего, что в этом случае из этого соприкосновения не может получиться никакого изменения, ибо лист IK находится в таком состоянии, что он совершенно не действует на электрическую материю. Если же мы теперь присоединим и другой конец R проволоки ко второму листу CD и приблизим его вплоть до соприкосновения, то проволока извлечет тогда из этого листа искру, так как сила отталкивания электрической жидкости в листе CD хотя и ослабела, но не стала совершенно равной нулю (§ 48). А в тот самый миг, когда некоторое количество электрической жидкости начинает переходить на конец R проволоки, сила притяжения жидкости в листе IK уже не остается больше равной нулю, но сама тотчас же начинает снова притягивать электрическую жидкость. В самом деле, если количество жидкости, которое переходит с листа CD на проволоку, назовем ε, то сила листа IK, притягивающая жидкость, ста-

нет равна $\frac{\varepsilon r'}{Q}$, как это без труда можно уяснить из § 15. Итак, жидкость, которая проникла в конец R проволоки, должна тотчас же перейти на лист IK. Итак, должен начаться непрерывный переход избытка жидкости из CD в IK через проволоку PQR; этот переход не может остановиться ранее того момента, когда оба листа будут в равной мере наполнены жидкостью, т. е. раньше, чем то состояние банки, которое мы описали в § 45, будет совершенно уничтожено.

67. Этот переход должен происходить с замечательной скоростью и чрезвычайно бурно; ибо:

1) в тот самый миг, в который электрическая жидкость начинает переходить с листа CD на конец R проволоки, другой ее конец освобождается от жидкости; и то и другое содействует значительному ускорению движения электрической жидкости через проволоку из R к P; в самом деле, как следует с достаточной убедительностью из изложенного выше, даже если бы конец P не был опорожнен от жидкости, жидкость, которая проникла в конец R, должна была бы все равно стремиться к P, как к части тела, содержащей меньшее количество электрической жидкости; но так как из этого конца в тот же миг удаляется жидкость, такое устремление должно вследствие этого стать еще больше; поэтому сила, побуждающая жидкость к переходу по проволоке PQR с листа CD на лист IK, становится как бы вдвое большей, чем она была бы в том случае, если бы конец этой проволоки не касался листа IK;

2) так как эти причины побуждают жидкость к переходу в течение всего того времени пока лист CD содержит большее количество жидкости, чем второй лист IK, в результате непрерывного действия этих сил переход по необходимости значительно ускоряется; но при этом, прежде всего,

3) сгустится значительно электрическая жидкость в листе и даже в тысячекратно большей степени, чем это было бы,

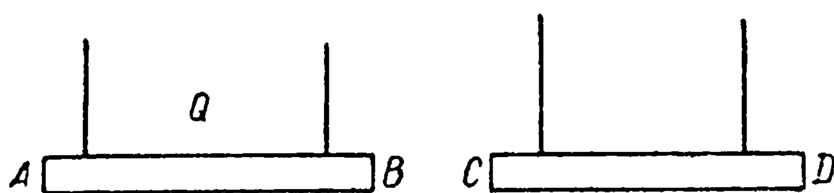
если бы прибор Мушенбрёка не применялся; итак, поскольку это большое количество жидкости в кратчайшее время и даже как бы в одно мгновение ока переходит из первого листа во второй, отсюда неизбежно должны получиться наиболее бурные последствия; это очевидно;

4) наконец, электрическая жидкость, приведенная в чрезвычайно быстрое движение, подвергнется значительному сжатию и, будучи чрезвычайно упругой, будет приведена в крайне быстрые колебания.[29] Как мне кажется в этом последнем обстоятельстве и заключается основная причина боли и сильнейшего потрясения, которое испытывает человек, который вместо проволоки *PQR* применит свое тело и допустит, чтобы электрическая материя проходила через его тело.

68. Этот переход сопровождается и другими чрезвычайно бурными последствиями. Цель этого сочинения не позволяет нам заняться исследованием этих последствий; притом же занятие этим вопросом не представляется нам благодарным делом, ибо тот, кто захотел бы применить изложенное нами выше к частным явлениям, смог бы обнаружить без труда, что отсюда как бы непроизвольно вытекает объяснение бесчисленных явлений. Тем не менее, мне кажется необходимым упомянуть еще о взрыве и треске, которые сопровождают происходящий описанным выше способом переход электрической материи по проволоке. Для объяснения причины этого явления я не считаю нужным ссылаться на что-либо другое, кроме сильного сжатия жидкости в листе и внезапного прекращения силы сжатия. Уже самые основы физики с достаточной обстоятельностью показывают, что этого сжатия и прекращения его достаточно, чтобы произвести в упругой жидкости, какой является электрическая жидкость, сильный взрыв, связанный с сильным треском.

69. До сих пор я подверг рассмотрению только тот случай, когда лист *CD* при наделении банки электричеством был наэлектризован положительно, вследствие чего сделан-

ные мною до сих пор выводы относятся только к тому случаю, который я подверг рассмотрению в § 45. Но все эти выводы могут быть весьма легко перенесены также и на другой случай, который я рассматривал в § 46, — на случай, когда лист *CD* был наэлектризован отрицательно. В этом нет необходимости; изложение этого могло бы иметь только одну цель — продолжать неустанно следовать по тому пути рассуждений которому я следовал до сих пор в получении моих выводов. Читатели не станут требовать от меня специального рассмотрения этого случая, ибо оно совершенно излишне. Наконец, необходимо еще раз напомнить о том, что, хотя я здесь рассматривал только действие металлических листов *CD* и *IK*, а со стеклянной пластинкой, проложенной между ними, считался лишь в той мере, поскольку она препятствует фактическому переходу электрической жидкости из одного листа в другой, тем не менее я не считаю стеклянную пластинку самое по себе совершенно инертной. В самом деле, причину, в силу которой я склонен считать, что и она играет некоторую роль в вызывании электрического потрясения, я изложил уже в § 47.



Фиг. XII.

70. Некий муж, выдающийся знаток теории Франклина, сообщил мне, что когда-то он, побуждаемый изучением этой теории, надеялся, что ему удастся получить электрическое потрясение без помощи стекла, которое большинство авторов считало необходимым для того, чтобы этот опыт удался. Он приступил к этому делу следующим образом. Он подвесил около себя, каждый на двух шелковых нитях, два железных бруска *AB* и *CD* (фиг. XII) и наэлектризовал первый — положительно, а второй — отрицательно. Затем в один и тот же миг он коснулся одной рукой бруска *AB*, а другой — бруска *CD*. Однако результат не оправдал надежд, ибо таким путем он не мог получить никакого ощущения,

сходного с электрическим потрясением. Если мы сопоставим этот опыт с изложенной выше теорией, то мы заметим:

1) из причин, обусловливающих бурный переход электрической материи в опыте с потрясением, перечисленных в § 67, первая и вторая и здесь, в известном смысле, имеют место, если только оба бруска испытают прикосновение в один и тот же миг и если из них обоих будет извлечена искра одновременно; на практике, как я полагаю, это связано с трудностями и вряд ли может быть когда-либо достигнуто. Если же мы обратимся к остальным причинам, то очевидно, что

2) третья причина бурного взрыва и связанная с ней четвертая в этом случае не имеют места. В самом деле, электрическая жидкость в бруске *AB* в этом случае не подвергается сильному сжатию; точно так же жидкость из бруска *CD* не удаляется в достаточно большой степени. Ибо соответственно тому, как был поставлен опыт, электрическая жидкость в бруске *AB* не могла подвергнуться большему сжатию, а из *CD* не могла быть удалена в большей степени, чем это бывает, когда электризация совершается обычным способом, без помощи банки.

Поэтому не удивительно, что таким путем невозможно получить электрическое потрясение, так как, за отсутствием первичной причины, бурный характер, который при постановке этого опыта получает электрическая материя при прохождении через тело экспериментатора, значительно и даже в тысячи раз ослабляется по сравнению с тем случаем, который обычно имеет место при применении банки Мушенбрёка.

71. Если же два тела комбинируются таким образом, что, подобно тому как это происходит в Лейденской банке, в одной части происходит сгущение жидкости, а в другой — разрежение, то не может быть никакого сомнения, что опыт должен иметь успех, согласно ожиданиям. Я это доказал на деле, на опыте, когда я впервые вызвал электрическое потрясение без помощи стекла, которое большинство ученых считало совершенно необходимым для того, чтобы опыт

с потрясением удался. Ввиду недостатка свободного времени, я прежде упомянул об этом опыте лишь кратко в мемуаре, представленном знаменитейшей Берлинской академии наук; этот мемуар содержит описание явлений, вызываемых камнем турмалином, и напечатан в „Известиях Академии“ за 1756 г.;[30] я изложил здесь все, что необходимо для того, чтобы этот опыт удался. Я полагаю, что этот опыт заслуживает, чтобы я здесь сказал о нем несколько слов, поскольку он весьма достопримечателен и предоставил мне случай внести важные исправления в теорию электричества в том виде, как она дана Франклином, ибо она была искажена несколькими крайне неправдоподобными гипотезами.

72. Когда опыт Мушенбрёка стал впервые известен, бо́льшая часть физиков полагала, что основной причиной весьма бурных явлений, вызываемых Лейденской банкой, надо считать особую природу воды, которая обычно применяется для этого опыта. Но после того как стало известно, что вместо воды может быть взято какое угодно другое тело, неэлектрическое по своей природе, с таким же, если не с бо́льшим успехом, — каждый мог без труда притти к мысли об опыте того же рода, как и мой. Действительно, чрезвычайно легко могла возникнуть догадка, что ту роль, которую играет стекло, может играть какое угодно тело, электрическое по своей природе, и так как, кроме того, было достаточно известно, что и воздух является электрическим по своей природе, то сама собой напрашивалась постановка опыта для выяснения, не может ли воздух в этом опыте заменить стекло. Тем не менее, поскольку мне известно, это не пришло еще ни разу никому на ум, да я сам не наткнулся на такой вывод, идя этим путем, хотя он был бы в высшей степени естественным, но меня привела к нему сама теория Франклина. Один из моих друзей, занятый постановкой опытов с электричеством, показал мне какой-то опыт, который во всем существенном совершенно совпадает с опытом, описанным с английских Philosophical Transactions,

т. IX, ч. 1, 1755, стр. 302, 303, 304,[31] и просил, чтобы я исследовал, каким образом можно этот опыт согласовать с теорией Франклина: ему самому такое толкование казалось трудным делом. Рассматривая в уме основы этой теории с разных сторон, я внезапно натолкнулся на объяснение, которое полностью совпадает с тем, которое сам Франклин дал этому явлению. На основании созданной мною теории я отмечал, что если какое-либо положительно-электрическое тело приблизится к другому находящемуся в естественном состоянии телу, из которого при посредстве других тел, неэлектрических по своей природе, жидкость может свободно удаляться, то в конце концов это тело, вследствие отталкивания, которое производит избыток электрической материи в первом теле, должно быть опорожнено от жидкости; однако после того как это произошло, воздух, находящийся в промежутке между этими двумя телами, препятствует тому, чтобы электрическая материя переходила из первого тела во второе и восстанавливала недостаток жидкости, причиненный отталкиванием. Когда я увидел, что все это дает точное объяснение всех явлений, имеющих место, по мнению Франклина, в Лейденской банке, я пришел к убеждению, что и без помощи стекла, если призвать на помощь вместо него воздух, можно произвести электрическое потрясение.

73. Однако мой друг, которому представилось другое объяснение явления, причину которого я нашел, подвергал мое объяснение сомнению; впрочем его объяснение не совсем согласовалось с теорией Франклина. Считая поэтому, что надо немедля приступить к опыту, который и сомневающегося друга мог бы убедить и подтвердить правильность моего объяснения, я с помощью указанного друга подвешивал (поскольку у меня не было под руками других приборов, подходящих для постановки этого опыта) железный брусок с квадратным поперечником, а под ним в положении, параллельном ему, трубку, склеенную из латунных листов, на расстоянии приблизительно полутора дюйма от него.

Я прикладывал к трубке правую руку, а железный брусок электризовал обычным способом; когда я приходил к выводу, что этот брусок уже обладает достаточно сильным электричеством, я извлекал из него левой рукой искру; однако мне не удавалось добиться какого-либо ощущения, сходного с тем, которое сопровождает электрическое потрясение. Но так как я был глубоко убежден в правильности моих рассуждений, я искал причины неудачи, и мне удалось натолкнуться на объяснение, которое казалось мне правдоподобным. В самом деле, на основании теории Франклина легко было притти к выводу (читатели поймут это без труда на основании сказанного выше), что потрясение будет тем менее бурным, 1) чем меньше те поверхности, на одной из которых жидкость сгущается, а с другой из которых она удаляется, и 2) чем дальше эти поверхности отстоят друг от друга, так как то, что вызывает усиление разрежения и сгущения, ослабляется с увеличением расстояния (§ 50).[32] Я без труда заметил, что здесь налицо обе эти причины ослабления. В самом деле, при обычном способе постановки опыта Мушенбрёка, когда применялась банка или стеклянная пластина, поверхности не отстояли друг от друга даже на $1^1/_2$ линии, а в этом случае это расстояние было приблизительно в 36 раз больше. Кроме того, четырехгранная призма и цилиндрическая трубка (а именно эти тела я применял для опыта) обращены друг к другу весьма малой поверхностью — отталкивание их друг от друга происходит как бы только по линии, почти не имеющей ширины. Устранить первую из этих причин не было возможности, ибо воздух не представляет столь мощного препятствия для прохождения электрической материи, как стекло, вследствие чего электрическая материя перескакивает из одного тела в другое в виде искры в случае, если посредником служит воздух, на бо́льшие расстояния, чем если им будет стекло. Мне было известно, помимо этого опыта, что никакое другое тело нельзя приблизить к трубке на расстояние менее 1 или $1^1/_2$

дюймов, без того чтобы оно не вызывало искры. Но устранить вторую причину ослабления я мог без труда, применяя тела с широкими поверхностями; более того, я питал надежду, что поверхности могут быть сделаны столь большими, чтобы это увеличение превосходило то ослабление, которое получалось вследствие увеличения расстояния, и чтобы оно его как бы уравновешивало.

74. Поэтому я позаботился, чтобы были приготовлены две пластины шириной приблизительно в 1 фут, длиной в $1^1/_2$ фута, из железных листов, обложенных оловом, и применил их для производства опыта указанным выше способом. Однако я и в этом случае не смог получить тот результат, на который надеялся. Ибо то ощущение, которое производили выскакивающие искры, имело мало сходства с тем, которое обычно сопровождает электрическое потрясение. Но в то же время следующие явления позволяли мне надеяться на лучшее.

1) Если я не прикасался к нижней пластине, а получал левой рукой искру из верхней, наэлектризованной положительно, то ощущение было вряд ли сколько-нибудь более бурным, чем то, которое вызывает обычная большая искра.

2) Если же я прикладывал правую руку к нижней пластине и в то же время при помощи левой руки получал искру из верхней пластины, то я испытывал бурное и болезненное ощущение, распространяющееся почти на всю левую руку; в то же время ощущалась такая же боль в пальцах, придерживающих нижнюю пластину.

Эти опыты с очевидностью доказывали, что происходит какой-то переход электрической жидкости из верхней пластины в нижнюю; поэтому, если мне не удалось получить настоящее и достаточно бурное потрясение, то обвинять в этом следовало только недостаточную величину пластин, которыми я пользовался.

75. Итак, чтобы получить бо́льшую поверхность, я позаботился об изготовлении деревянных пластин большей

величины, поверхность которых имела приблизительно 8 квадратных футов; я подвесил их, обложив их металлическими листами, на расстоянии $1^1/_2$ дюйма друг от друга в положении, параллельном одна другой. После того, как я поставил опыт обычным образом, я немедленно же получил сильное потрясение, совершенно подобно тому, какое обычно вызывает Лейденская банка. Кроме того, этот мой прибор был в состоянии воспроизвести и все другие явления, которые получаются в банке; нет нужды подвергать их рассмотрению.

76. Главным плодотворным выводом, который я тотчас же сделал из этого опыта, было то, что я получил отчетливое представление о причине той непроницаемости, которую приписывал стеклу Франклин и которую оспаривал Нолле́. Для того чтобы доказать существование непроницаемости стекла, Франклин считал необходимым прибегнуть к совершенно неправдоподобным гипотезам и к ссылке на особое строение стекла. В самом деле, у воздуха, в высшей степени жидкого тела, нельзя предполагать такое же строение, как у стекла, или близкое к нему; однако же, несмотря на это, воздух оказался в состоянии заменять стекло в Лейденской банке. Поэтому я понял, что с знаменитейшим Франклином случилось нечто такое, что может случиться с каждым человеком.[33] Когда я стал глубже исследовать этот вопрос, мне сразу же стало ясно, что эта непроницаемость есть проявление основного свойства тел, электрических по своей природе, в силу которого они оказывают сопротивление прохождению электрической жидкости через свои поры. Я не мог не удивляться тому, что знаменитейший Франклин, который так замечательно описал свойства тел, электрических по своей природе, не заметил, что то свойство, которому он дал имя „непроницаемость", является непосредственным следствием из сущности тел, электрических по своей природе. Но, кроме того, этот опыт помог мне понять общий характер опыта с потрясением; ведь вполне очевидно,

что наш опыт проливает яркий свет на причины этого явления. Этот опыт был мне весьма полезен и для правильного объяснения и понимания действия гроз, сопровождающихся молниями. Ведь совершенно ясно, что если из моих пластин, описанных в предыдущем параграфе, одну принять за облако, чреватое электричеством или громом, а другую — за поверхность земного шара, над которой находятся облака, то этот опыт дает картину всего того, что происходит во время грозы, сопровождаемой молнией. Но так как этот вопрос далек от моего исследования и от цели этого сочинения, достаточно лишь указать на него.[34]

77. Но лучше вернемся опять к исследованию некоторых явлений, происходящих в Лейденской банке. Ведь еще остались не затронутыми нами несколько явлений, которые либо весьма достопримечательны сами по себе, либо достойны более внимательного рассмотрения, так как они важны для правильной постановки сравнения между явлениями электричества и явлениями магнетизма. Франклин допустил ошибку в обосновании теории Лейденской банки; мы пользуемся здесь случаем для ее исправления. Именно этот знаменитейший муж полагает, будто, когда банка нагружается электричеством, из внешней поверхности банки удаляется точно такое же количество электрической жидкости, какое накопляется на внутренней; иными словами (если мы применим принятые нами выше обозначения для выражения этих количеств), он предполагает, что α всегда равно β. Но выше (§ 45) мы доказали, что $\beta = \frac{\alpha r'}{r}$, и это количество, вследствие $r > r'$, обязательно меньше, чем α, а не равно ему, за исключением случая, когда r' совершенно или с точки зрения свидетельства наших чувств становится равным r; такой случай не имеет, однако, места в Лейденской банке, стенки которой никогда не бывают достаточно тонкими для того, чтобы разница между r и r' могла стать равной нулю. Правда, это может произойти в опытах, рассмотренных в §§ 55 и 59, но известно,

что Франклин не имел о них никакого представления. Поэтому лишена всякого основания надежда на успех того, что этот знаменитейший муж надеялся получить тем способом, который он описал: будто, приложив тот труд, который нужен для заряжения одной банки, можно зарядить электричеством бесчисленное количество банок, и все они получат такую же степень электричества, как получила бы одна банка. Действительно, при постановке опыта способом, указанным Франклином, количество, удаленное из каждой предыдущей банки и проникающее в непосредственно следующую за ней, будет во столько же раз меньше того количества, которое накоплено в предыдущей банке, во сколько раз r меньше r'. Поэтому ясно, что все банки, действительно, наполняются электричеством, но электричества в каждой последующей банке будет во столько же раз меньше по количеству, чем в ближайшей предыдущей, во сколько раз r' меньше r''.

78. Для доказательства равенства между α и β этот знаменитейший муж ссылается на такой опыт: если человек, стоящий на смоле или стекле и держащий в руке банку, приложит другую руку к проволоке, введенной в банку, и тем освободит банку от электричества, то в нем, тем не менее, как показывает опыт, после того как он испытает сотрясение, не обнаружится никаких признаков ни положительного, ни отрицательного электричества. Нельзя не признаться, что с первого взгляда действительно кажется, что отсюда полностью вытекает тот вывод, который весьма остроумно сделал Франклин. В самом деле, если примем, что $\alpha = \beta + m$ и что естественное количество электрической жидкости в человеке, ставящем опыт и стоящем на смоле, равно q, то общее естественное количество жидкости, приходящейся как на внешнюю и внутреннюю поверхность банки, так и на человека, производящего опыт, вместе взятых, будет до начала электризации равно $2Q + q$. Если же банка наполнена электричеством, то (принимая изложенное выше предположение) количество электрической жидкости на внут-

ренней поверхности банки будет $Q+\beta+m$, на внешней $Q-\beta$, а в человеке q; а следовательно, во всех трех вместе взятых оно равно $2Q+q+m$. Если же эта сумма будет равномерно распределена по всему прибору, как происходит при бурном разряде банки (§ 66), то количество электрической жидкости во всем аппарате окажется равным $2Q+q+m$, а это отличается от естественного количества $2Q+q$ на количество m. Итак, ясно, что, если m положительно, то и человек вместе с банкой, после того как произошло бурное разряжение, окажется положительно-электрическим, если же m отрицательное, то отрицательно-электрическим. Оказаться же в естественном состоянии производящий опыт и банка могут после взрыва только в том случае, если $m=0$, т. е. если $\alpha=\beta$.

79. Хотя рассуждения знаменитейшего мужа весьма логичны, тем не менее можно показать, что он их неосторожно применяет к данному опыту. Если мы произведем расчет силы, с которой после равномерного распределения жидкости должен весь прибор действовать на электрическую жидкость и другие наэлектризованные тела, то найдём, что первая равна $\frac{mr}{2Q+q}$, а вторая $\frac{mr\delta}{2Q+q}$ (§§ 10, 34). Но ясно, что если m будет весьма малым по сравнению с $2Q+q$, то эта сила будет столь малой, что будет совершенно неощутимой. Если мы теперь обратимся к опыту Франклина, то нам станет ясно, что m — достаточно малое количество; в самом деле:

1) для этого опыта он применил и только мог применить банку небольшого объема, так как в противном случае потрясение было бы столь бурным, что человек не мог бы его легко перенести;

2) по этой же причине банка могла быть заряжена электричеством не до высшей степени, но лишь умеренно;

3) та банка, которую применял Франклин, имела тонкие стенки, вследствие чего β, равное $\frac{\alpha r'}{r}$, лишь на малую

величину отличается от α, так как r' мало отличается от r.; и наоборот,

4) масса человека и естественное количество электрической жидкости, находящейся в человеке, пропорциональное этой массе, весьма велики.

Из всего этого можно сделать вывод, что m значительно меньше, чем q, или чем $2Q+q$. Поэтому неудивительно, что после бурного разряжения банки в человеке оказалось столь малое количество электричества, что его нельзя было обнаружить ни по каким признакам.

80. Однако, если поставить опыт так, чтобы m по сравнению с количеством $2Q+q$ было достаточно большим, то результат покажет с очевидностью, что α не равно количеству β. Для исследования этого вопроса я подошел к нему таким образом. Я подвесил две пластины с весьма большой поверхностью, вроде описанных мною в § 75, на расстоянии примерно 2 дюймов друг от друга и, став на смолу, подвергся обычным образом потрясению; не было случая, чтобы я не приобретал положительного электричества, если передняя пластина была наэлектризована положительно, и отрицательного, если она была наэлектризована отрицательно. Этот опыт удается, если он поставлен таким образом, и не может удаться, если его поставить по способу Франклина, по следующим причинам:

1) поверхности, на одной из которых жидкость была сгущена, а на другой — разрежена, были достаточно обширными, и

2) эти поверхности отстояли друг от друга на значительное расстояние, поэтому, ввиду большой разницы между r' и r, β $\left(\text{или } \frac{\alpha r'}{r}\right)$ была значительно меньше, чем α, если переднюю пластинку электризовали положительно, и β $\left(\text{или } \frac{\alpha r}{r}\right)$ была значительно больше, чем α, если переднюю пластинку электризовали отрицательно (§§ 45 и 46).

81. Выше, в § 47, я отметил уже, что для получения электрического потрясения нельзя принимать во внимание

только металлические листы, которыми обложена стеклянная пластина, но и сама эта стеклянная пластина играет некоторую роль в возникновении потрясения. В самом деле, я показал (а это подтверждается и опытами), что сама стеклянная пластина приводится в такое состояние, которое нужно для получения потрясения, — именно, на одной ее стороне электрическая жидкость накопляется, а на другой — разрежается. Читатели могли бы сделать отсюда вывод, что для получения электрического потрясения нет необходимости в металлических листах или других телах, играющих ту же роль, что и эти листы. Действительно, так как можно самоё стеклянную пластинку привести непосредственно в состояние, требуемое для опыта с потрясением, то представляется очевидным, что опыт должен удаться также и в том случае, если будет применяться только стеклянная пластина и ничего больше. Те, которые приходят к такому выводу, должны будут удивляться, что данные опыты никогда не находятся в согласии с этим утверждением: опыт свидетельствует, что лейденский эксперимент никогда не удается, исключая лишь тот случай, когда банка с обеих сторон обкладывается веществом, неэлектрическим по своей природе. Чтобы вывести читателя из возникшего вследствие этого сомнения, я считаю необходимым подробно изложить, какую пользу приносят в этом опыте металлические листы. Выполнить это дело тем более необходимо для нас, что предлагаемое объяснение в то же время принесет пользу и для понимания некоторых явлений магнетизма. Кроме той пользы, которую сами эти листы приносят для получения потрясения, они полезны еще в двух следующих отношениях:

1) Они необходимы для наделения электричеством стеклянной пластины — без их помощи или без помощи других тел, играющих ту же роль, что́ и они, пластину никогда не удалось бы наделить электричеством. В самом деле, допустим, что мы убрали эти листы и что нам необходимо поставить опыт с пластиной, лишенной обкладки. Пусть проводящий

электричество провод ST (фиг. VIII) непосредственно соединен в точке S с передней поверхностью пластины, а тот провод, через который должна уходить электрическая материя, непосредственно соединен в точке L с задней поверхностью пластины. Тогда электрическая материя поступает в точке S и из этой точки распределяется по смежным с нею точкам поверхности AE. Но так как распределение электрической материи по стеклу, как по материи, электрической по своей природе, происходит лишь с трудом, в результате сколько-нибудь заметное накопление электрической материи будет иметь место лишь в районе, примыкающем к S; достигнуть же частей поверхности, расположенных дальше, она вряд ли сможет или даже вовсе не сможет, в результате значительное сгущение жидкости может иметь место только в точке S и в смежном районе, а отнюдь не по всей поверхности AE. Если же поверхность AE обложена металлическим листом CD, то электрическая жидкость, распределяясь сразу же по всему листу, немедленно доносится до любой точки поверхности; поэтому теперь значительное сгущение жидкости простирается также и на всю поверхность. То же в конечном итоге имеет силу и для поверхности BF, которая без помощи металлического листа может по тем же причинам сделаться свободной от жидкости только около точки L.

2) Когда происходит разряжение банки, металлические листы даже сами по себе в состоянии сделать бурным это разряжение и потрясение, как это с достаточной очевидностью показывает изложенное выше, если даже мы совершенно отвлечемся от той роли, которую играет пластина в деле усиления бурного характера разряда, и будем считать ее совершенно бездеятельной. Но сверх того, листы являются еще причиной того, что сама стеклянная пластина, проложенная между ними, содействует увеличению бурного характера разряжения, так как они помогают переходу электрической материи с передней поверхности плиты на заднюю. Действительно, так как они тесно соприкасаются с этими

поверхностями повсюду и во всех их точках, электрическая жидкость, перенесенная из любой точки поверхности AE на передний лист CD и, наоборот, по проволоке RQP на задний лист IK и тотчас же распределенная по этому листу, может немедленно перейти на любую точку поверхности BF.

82. Итак, если после наделения стеклянной пластины электричеством с помощью металлических листов CD и IK мы решим убрать эти листы и оставить стеклянную пластину ничем не обложенной, то даже в том случае, если теперь будет применена изогнутая металлическая нить RPQ описанным в § 66 способом, не следует ожидать никакого бурного разряжения. В самом деле, электрическая материя, которая была накоплена близ точки R, правда, проникнет в проволоку и по ней перейдет на точку задней поверхности, а также наполнит смежный район, из которого ранее было удалено электричество; однако остальная электрическая материя, накопленная в точках, расположенных далеко от точки R, перейдет на нить лишь чрезвычайно медленно и, будучи перенесена в точку P, окажется не в силах быстро распределиться по частям поверхности BF, более удаленным от точки P. Итак, очень быстрый переход электрической жидкости с передней поверхности на заднюю теперь уже не может иметь места, но он должен происходить столь медленным темпом, что этот переход вряд ли может привести к какому-либо ощутимому результату. Но легко понять, что этот переход будет тем более медленным, чем в большей степени применяемая для опыта пластина будет электрической по своей природе, и что вообще никакой переход не мог бы иметь места, если бы можно было применить для опыта тело, которое было бы абсолютно электрическим по своей природе, т. е. если бы электрическая материя не могла бы вовсе двигаться в его порах. Отсюда совершенно ясно, что в теле такого рода не может иметь место ни бурное разряжение, ни уничтожение электричества при помощи такого рода

изогнутой проволоки или какого-либо другого тела, играющего такую же роль, как эта проволока.

83. О явлениях, наблюдаемых в Лейденской банке, я говорил здесь подробнее, чем имел в виду: однако я уверен, что читатели не будут на меня за это в претензии. Среди тех вопросов, которые я здесь изложил, многие тесно связаны с основной задачей этого сочинения и будут полезны для дальнейшего изложения; сверх того, мне кажется, что я изложил здесь теорию этого эксперимента подробнее, чем это делалось кем-либо до меня, причем я дал много такого, что делает путь для объяснения бесчисленных электрических явлений легким и удобным; надеюсь, что читатели не будут досадовать на то, что они уделили этому некоторое внимание. После сказанного перейдем, наконец, к выводу магнитной теории.

84. В силу того, что я сказал в начале этого сочинения (§ 9), могут существовать три рода магнитов. В самом деле, из сказанного следует, что возможны магниты, во всех частях которых магнитная жидкость находится в избытке; возможны другие магниты, во всех частях которых количество магнитной жидкости уменьшилось ниже естественного, и, наконец, возможны такие магниты, которые обладают, если можно так выразиться, в одной части положительным, в другой — отрицательным магнетизмом. Среди тел, наделенных электричеством, как это в достаточной мере было указано в полном согласии с нашей теорией, эти три вида существуют в действительности. Читатель должен узнать, что наличие таких же различий в магните не подтверждается опытом. Это может послужить поводом для того, чтобы взять под сомнение всю мою теорию. Действительно, известно, что все магниты, как природные, так и полученные искусственно, имеют обычно два, а иногда и большее количество полюсов, которые действуют не по одним и тем же законам, а в некотором смысле по противоположным; до сих пор еще ни разу не был найден магнит, который имел бы только один

полюс или который по всей своей субстанции и в любой своей части действовал бы согласно одним и тем же законам. Отсюда легко сделать вывод, что все магниты, которые до сих пор произвели либо искусство, либо природа, всегда были наделены не одним каким-нибудь видом магнетизма, но и тем и другим. Поскольку это так, я считаю себя обязанным рассеять это сомнение у читателей и показать, почему не существует магнитов, которые обладали бы только одним видом магнетизма, хотя согласно теории и сами по себе такие магниты возможны. Но пусть разрешат мне читатели отложить еще на некоторое время это исследование, а пока заняться магнитами, обладающими магнетизмом обоих видов, ибо таким образом я подготовлю путь для разрешения указанных затруднений.

85. Представим себе, что некоторое тело A, восприимчиво к магнетизму (фиг. IV) — безразлично, будет ли оно состоять из чистого железа или к нему будут примешаны инородные элементы, как это имеет место в рудах, и примем, что магнитная материя распределена в этом теле неравномерно (независимо от того, по какому закону это распределение происходит), так что в части AC ее избыток, а в части AB — недостаток. В таком случае очевидно, что все то, что мы в начале этой главы (§§ 15—27 и §§ 37—44) доказали в общем виде, может быть привлечено сюда, и если мы будем употреблять те же буквы, что и выше, и сохраним за ними те значения, которые мы им придали, то сюда можно будет перенести все выведенные там формулы и все заключения, сделанные из них. Итак, из § 15 мы можем взять формулы, выражающие действие магнита на частицы жидкости, смежные с ним, а из §§ 38 и 39 — выражающие действие его на другие, сходные с железом тела, как наделенные магнетизмом, так и не обладающие им. Здесь мы не будем заниматься приложением указанных формул к магниту, так как эти исследования найдут для себя подходящее место ниже.

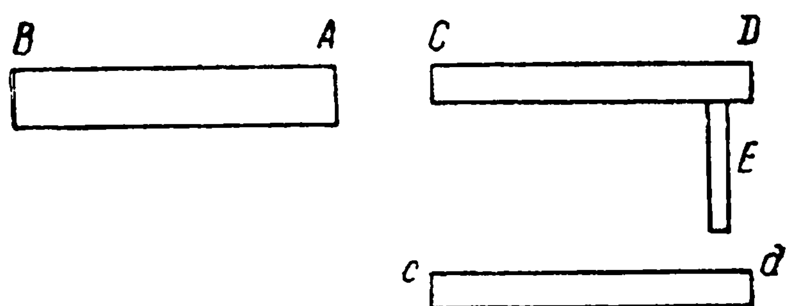
Мы показали уже в § 16, что частица жидкости F, расположенная в том месте, где сходятся наполненная часть AC и часть AB, из которой жидкость удалена, находится под действием силы, заставляющей ее оставить часть AC и перейти в часть AB; эта сила равна $\frac{\alpha r + \beta r}{Q}$. Итак, магнитная жидкость в любом магните будет находиться под действием этой силы $\frac{\alpha r + \beta r}{Q}$, вынуждающей ее оставить часть AC, перейти в часть AB и распределиться равномерно по всему телу A.

86. Итак, в любом магните, предоставленном самому себе, непрерывно действует сила, стремящаяся к уничтожению магнетизма; вследствие этого сила любого магнита должна будет постепенно ослабляться, если только не будет внешней силы, сохраняющей ее, и притом достаточно быстро, пока сила $\frac{\alpha r + \beta r}{Q}$ достаточно велика для того, чтобы легко преодолеть то сопротивление, которое магнитная жидкость встречает при продвижении в порах тела A. Если же сила $\frac{\alpha r + \beta r}{Q}$ будет меньше, то переход жидкости или совсем прекратится, или, во всяком случае, он будет столь медленным, что лишь после того, как истечение будет продолжаться значительное время, может возникнуть ослабление, доступное восприятию чувствами. Отсюда, прежде всего, очевидна причина, благодаря которой магнитная сила, как это доказывает постоянно опыт, в любом магните, как искусственном, так и естественном, ослабляется и, наконец, почти целиком исчезает, если только магнитная сила не сохраняется в нем благодаря каким-либо искусственным приемам. Отсюда следует также, что любое данное тело, сходное с железом, может воспринять только данную степень магнетизма, так что, если оно становится магнитным в большей степени, то этот избыток скоро снова уничтожается. Как очевидно из вышеизложенного, степень этого насыщения, если можно

так выразиться,[35] количественно зависит от того сопротивления, которое встречает магнитная жидкость при продвижении в порах намагничеваемого тела. Действительно, если это сопротивление равно нулю, то и степень насыщения будет равна нулю; поэтому такое тело, даже если оно очень сильно намагничено, будучи предоставлено самому себе, мгновенно теряет всякий магнетизм. Если это сопротивление бесконечно велико, то и степень насыщения будет бесконечно велика, и если бы такое тело существовало, то любую степень магнетизма, полученную им в один раз, оно могло бы потерять только через бесконечное время, т. е. оно навсегда сохранило бы ее в неприкосновенности без всякого уменьшения. Если же принять, что степень сопротивления равна некоторой промежуточной величине между этими двумя крайностями, то принять бо́льшую степень магнетизма или, вернее, дольше сохранить его смогут всегда те тела, в которых продвижение магнитной материи встречает большее сопротивление, а меньшую степень магнетизма — те тела, в которых эта материя движется с большей легкостью.

87. Итак, магнитная материя при своем продвижении в железных телах встречает тем большее сопротивление, чем они тверже; отсюда следует, что степень насыщения в твердом железе всегда будет большей, чем в более мягком. С этим прекрасно согласуются данные опыта. В самом деле, тем, которые занимаются изготовлением искусственных магнитов, прекрасно известно, что более мягкому железу, правда, легко можно передать значительную степень магнетизма, но эта работа будет в некотором смысле тщетной, так как магнетизм, сообщенный телу такого рода, либо весь, если железо будет очень мягким, либо почти весь, если оно сделано лишь немного твердым, обычно тотчас же исчезает; поэтому и для изготовления искусственных магнитов доставляется самая твердая сталь. Каждый, кто желает, может убедиться в этом на основании следующего опыта. Изготовим два параллелепипеда, точно сходные друг с другом,

DC и dc (фиг. XIII), один DC из очень мягкого железа, другой же dc из не очень твердой стали; при этом надо тщательно остерегаться, чтобы они не приобрели какого-либо магнетизма до постановки опыта. Возьмем затем очень сильный магнит AB и к одному из его полюсов, A, приложим параллелепипед DC, состоящий из очень мягкого железа; мы заметим тогда, что он получает довольно значительный магнетизм: это видно из того, что он своим концом D может поднимать груз E значительной величины. Затем удалим с магнита этот параллелепипед, и окажется, что этот параллелепипед теперь не только не может уже поднимать эту тяжесть, но что магнетизм уменьшился в такой степени, что он едва может поднять одну или две пылинки из железных опилок. Если же параллелепипед DC заменим другим, dc, сделанным из твердой стали, то, пока он приложен к магниту, он не может поднимать такую тяжесть, какую поднимал DC, но после того как он снят с магнита, его магнетизм уже не будет совершенно равен нулю, как это было с магнетизмом в первом параллелепипеде, но своим концом d он будет поднимать значительный железный груз.



Фиг. XIII.

88. Кроме той причины уничтожения магнетизма, которую мы подвергли здесь рассмотрению, существует еще и другая, как явствует из § 15. Действительно, частица магнитной жидкости, находящаяся около C, побуждается к удалению с силой, равной $\frac{\alpha r - \beta r'}{Q}$, частица же D, находящаяся около B, — к проникновению в тело с силой, равной $\frac{\beta r - \alpha r'}{Q}$. В Лейденской банке (и в других подобных случаях, относящихся к электричеству) есть внешняя сила, препятствующая этим силам достигнуть результата, — именно окружающий ее

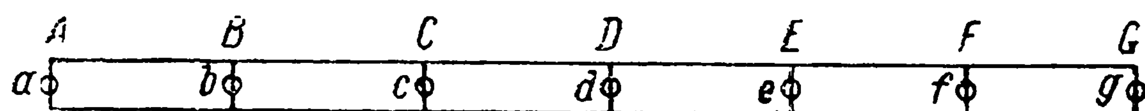
воздух; в магните же мы не можем представить себе такой причины. Действительно, так как все тела, окружающие магнит, не притягивают и не отталкивают магнитной жидкости, то они и не оказывают никакой помощи силам, стремящимся к уничтожению магнетизма; но зато они и не могут помешать этим силам достигнуть результата. Итак, магнитная жидкость должна свободно утекать из части AC и проникать в часть AB вплоть до полного уничтожения магнетизма; этому не препятствуют тела, окружающие магнит, а есть только внутренняя причина, препятствующая этому. Это то, на что я указал уже выше: это сопротивление, которое магнитная жидкость встречает, продвигаясь по порам железных тел. Совершенно очевидно, что оно противодействует не только вытеканию, но и проникновению магнитной материи, ибо ни то, ни другое не может иметь места без фактического продвижения через поры. Итак, та же причина, которая противодействует рассмотренной выше (§ 85) силе, стремящейся к разрушению магнетизма, оказывает такое же противодействие и силам, о которых мы говорили в начале этого параграфа. Отсюда понятно, что сказанное в §§ 86 и 87 об уничтожении магнетизма и о различной степени насыщения в различных телах, имеет место и в отношении тех сил, которые мы рассматриваем здесь.

89. Следовательно, возможно такое положение вещей, когда состояние, описанное в § 85, остается стойким в теле, сходном с железом, и может быть уничтожено лишь через продолжительное время. Это верно для того случая, когда магнит предоставлен самому себе; можно поставить вопрос, не происходит ли уничтожение магнетизма в магните тем же способом, каким уничтожается электричество в Лейденской банке (§ 66), с которой магнит имеет замечательное сходство. В самом деле, если применим сюда то, что было сказано в приведенном параграфе, то может показаться, будто в магните должно происходить то же, что и в банке Мушенбрёка. А именно, если предположим, что изогнутая железная

проволока одновременно прикоснется к части *AC* (фиг. IV) магнита, наполненной жидкостью, и к части *AB*, из которой удалена жидкость, то, как кажется, по тем же причинам, что и в Лейденской банке, должен иметь место переход магнитной материи из части, наполненной, в часть, сделанную пустой, и этот переход не должен прекращаться до тех пор, пока магнетизм не будет совершенно уничтожен. Тот, кто пожелал внимательно следить за тем, что я изложил в §§ 81 и 82 о лейденском опыте, поймет без труда следующее: по той же причине, в силу которой по удалении металлических листов, которыми обложены стенки Лейденской банки, и по применении стекла, лишенного покровов, не имеет места внезапное уничтожение электричества, и в магните нельзя достигнуть уничтожения магнетизма таким способом. Действительно, так как в порах, железоподобных тел, особенно твердых, магнитная жидкость движется лишь с трудом, даже с гораздо бо́льшим трудом, чем электрическая жидкость в порах стекла, частицы, находящиеся около поверхности *C* магнита, а тем более те частицы, которые занимают внутреннюю область части *AC*, не смогут высвободиться из пор и перейти на железную проволоку; по такой же причине магнитная материя не сможет перейти с одного конца проволоки, касающейся части *AB*, из которой удалена магнитная жидкость, на поверхность *B*. Итак, ясно, что такого рода уничтожение магнетизма, какое обычно происходит в Лейденской банке при помощи бурного разряжения, не может произойти в магните, подобно тому как оно не может иметь места и в указанной банке без помощи металлических листов, которыми она обложена. Итак, то обстоятельство, что мы не в состоянии вызвать в магните бурное разряжение, сходное с тем, которое бывает в Лейденской банке, и уничтожение магнетизма имеет, надо думать, причиной только то, что не существует никаких тел, которые были бы немагнитными по своей природе, т. е. были бы аналогичны телам, неэлектрическим по своей

природе, иначе, таких, по порам которых могла бы свободно двигаться магнитная материя.

90. Я выше выставил утверждение, что нельзя найти магнитов, которые были бы наделены только одним видом магнетизма, но что всякий магнит обладает одновременно обеими видами магнетизма. Однако я не держался того взгляда, что случай, который я подверг рассмотрению выше, когда одна часть тела, наделенного магнетизмом, обладает положительным, а другая — отрицательным магнетизмом, является единственным, который может иметь место. И теория и опыт показывают, что, наоборот, имеется и много других случаев. Так, на железных прутьях, наделенных магнитной силой, мы более



Фиг. XIV.

часто наблюдаем, что имеются не два полюса, но три, четыре, пять и даже более. Если, напр., AG (фиг. XIV) представляет собою железный или стальной прут значительной длины, то может случиться так, что часть AB является северным полюсом, часть BC — южным, часть CD — снова северным, DE — южным, и т. д. Такого рода противоположные полюсы, чередующиеся между собой, принято называть последовательными точками; этот термин, если я не ошибаюсь, впервые ввел знаменитый Мушенбрёк.

91. То состояние железного прута, которое я только что описал, как мы легко убедимся из нашей теории, вполне может иметь место. В самом деле, примем, что прут разделен на равные части, и допустим, что избыток количества жидкости сверх естественного Q в AB равен α, в CD равен α', в EF равен α'', и т. д., а недостаток количества жидкости до естественного в BC равен β, в DE равен β', в FG равен β'', и т. д. Силу, с которой естественное количество магнитной жидкости, приходящейся на часть AB, отталкивает частицы

этой жидкости, для b примем равной r, для c r', для d r'', для e r''', для f r^{IV}, для g r^{V}, и т. д. Приступим при таких условиях к расчету, согласно сказанному в § 34, и найдем:

Сила, побуждающая частицу a к удалению, равна

$$\frac{\alpha r - \beta r' + \alpha' r'' - \beta' r''' + \alpha'' r^{IV} - \beta'' r^{IV} \quad \text{и т. д.}}{Q}$$

Сила, толкающая частицу b к части BC, равна

$$\frac{\alpha r + \beta r - \alpha' r' + \beta' r'' - \alpha'' r''' + \beta'' r^{IV} \quad \text{и т. д.}}{Q}$$

Сила, толкающая частицу c к CB, равна

$$\frac{-\alpha r' + \beta r + \alpha' r - \beta' r' + \alpha'' r'' - \beta'' r''' \quad \text{и т. д.}}{Q}$$

Сила, толкающая частицу d к DE, равна

$$\frac{\alpha r'' - \beta r' + \alpha' r + \beta' r - \alpha'' r' + \beta'' r'' - \quad \text{и т. д.}}{Q}$$

Сила, толкающая частицу e к ED, равна

$$\frac{-\alpha r''' + \beta r'' - \alpha' r' + \beta' r + \alpha'' r - \beta'' r' \quad \text{и т. д.}}{Q}$$

Сила, толкающая частицу f к FG, равна

$$\frac{\alpha r^{IV} - \beta r''' + \alpha' r'' - \beta' r' + \alpha'' r + \beta'' r \quad \text{и т. д.}}{Q}$$

и т. д.

Эти формулы легко получить, но они нужны только для того, чтобы высчитать действия любой части AB, BC, CD и т. д., взятой в отдельности, на любую из частиц a, b, c, d, e и т. д., и чтобы затем составить сумму этих сил, причем, однако, следует отметить, что те силы, которые действуют в обратном направлении, надо отнять от суммы, т. е. их надо считать отрицательными.

92. Как нетрудно увидеть, все эти силы стремятся уничтожить то состояние, в котором находится прут, и уничтожить

магнетизм; поэтому все, что я сказал в §§ 86 и 87, здесь также имеет место, но только эти силы поставлены в этом случае в такие ограничительные условия, что они не в состоянии легко преодолеть то сопротивление движению по порам железных тел, которое встречает магнитная жидкость, и если уже прут будет приведен каким-либо образом в это состояние, оно будет держаться достаточно длительное время; отсюда уже совершенно очевидна возможность последовательных точек в магните. О том же, каким образом можно вызвать такое состояние прута, чтобы на нем оказались последовательные точки, уместно будет говорить ниже, когда мы будем исследовать вопрос о намагничивании.

93. Когда мы выше говорили о явлениях Лейденской банки, мы приняли отношение между α и β за совершенно неопределенную величину и приняли, что оно может быть определяемо различными способами в зависимости от обстоятельств. Но по отношению к магниту дело обстоит иначе. Действительно, вследствие величайшей трудности, с которой жидкость передвигается в порах железных тел, вряд ли возможно, чтобы каким бы то ни было способом некоторое количество магнитной материи вошло в тело такого рода извне или же удалилось из него. Поэтому все способы, при помощи которых либо природа, либо искусство в состоянии сообщить магнетизм железным телам, сводятся в основном к тому, что магнитная жидкость, содержащаяся в намагничиваемом теле, как бы перемещается и побуждается к переходу из одной части тела в другую; это будет показано еще с большей очевидностью ниже, когда нам придется говорить о намагничивании. Так, напр., если намагничивается железный прут A (фиг. IV), не происходит ничего иного, кроме того, что некоторая часть жидкости перегоняется из части AB в часть AC. Итак, общее количество магнитной жидкости, находящейся в магните, всегда постоянно и остается таким же, каким оно было прежде чем приступили к намагничиванию. Значит, поскольку (применяя принятые нами

обозначения) общее количество магнитной жидкости, содержащейся в магните до намагничивания, равно $2Q$, и поскольку, после того как магнит был намагничен, это количество стало $2Q+\alpha-\beta$, получим, что $2Q+\alpha-\beta=2Q$ и, следовательно, $\alpha=\beta$. На несколько случаев, которые, может быть, являются исключением из этого правила, я укажу ниже.

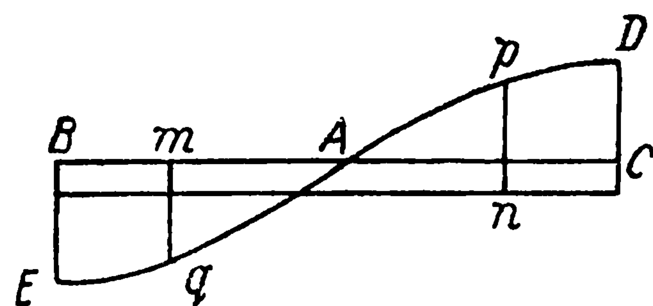
94. Если ввести только что найденные отношения между α и β в формулы, выведенные в § 15, то сила, с которой часть AC отталкивает магнитную жидкость, равна $\frac{\alpha(r-r')}{Q}$, а сила, с которой другая часть AB притягивает жидкость, также равна $\frac{\alpha(r-r')}{Q}$. Итак, поскольку эта сила равна первой, ясно, что те три состояния, о которых я говорил в §§ 21, 22 и 23, в магните не могут иметь места, хотя они имеют место в Лейденской банке и других подобных же электрических опытах. Итак, магнит никогда не может быть приведен в такое состояние, чтобы он совершенно не действовал той или другой своей частью на магнитную жидкость или чтобы он обеими своими частями либо притягивал, либо отталкивал жидкость, но, наоборот, всякий магнит должен постоянно находиться в таком состоянии, что он одной частью отталкивает магнитную жидкость, а другой — притягивает.

95. Выше я дал читателям обещание точнее изъяснить причины, в силу которых не существует магнитов, наделенных только одним видом магнетизма; в силу самого хода изложения я считаю теперь нужным выполнить это обещание. Прежде всего, как это ясно из § 18, если какое-либо тело обладает одновременно обоими видами магнетизма, то сила, стремящаяся к уничтожению магнетизма, значительно меньше, чем если мы предположим, что это тело наделено только одним видом магнетизма. Итак, если мы представим себе, что в некотором теле, родственном железу, магнитная жидкость находится либо на всем его протяжении в избытке, либо на всем его протяжении в недостатке, то ясно, что

в этом случае магнетизм такого рода не может держаться долго. Однако я не смею утверждать, что оно сразу же и мгновенно должно исчезнуть (что, впрочем, устранило бы все затруднения). Действительно, хотя для магнита нельзя придумать внешней причины, которая была бы в состоянии оказать сопротивление свободному истечению магнитной жидкости из намагниченного тела или прониканию ее в это тело, ибо тела, окружающие магнит, не действуют на магнитную жидкость, однако же из того, что мы говорили выше, уже следует, что существует внутренняя причина, способная противодействовать этому свободному притоку или истечению. Этим препятствием является уже неоднократно отмеченное сопротивление свободному продвижению магнитной материи по порам железа; если же сила, побуждающая жидкость или к вытеканию, или к проникновению, недостаточна для преодоления этого сопротивления, то уничтожение магнетизма не может иметь места. Итак, наша теория требует от нас, чтобы мы утверждали следующее: если железное тело приведено в такое состояние, что оно стало или целиком положительно-магнитным, или целиком отрицательно-магнитным, то такое состояние может держаться некоторое время. Ясно также, что оно будет тем длительнее, чем больше сопротивление, которое встречает жидкость при продвижении в порах тела, подвергающегося опыту. Итак, поскольку это сопротивление с увеличением твердости тела увеличивается, это состояние, при прочих равных условиях, сохранится в очень твердой стали на более длительное время, чем в весьма размягченном железе.

96. Итак, теория не объявляет невозможным существование магнитов, обладающих только одним видом магнетизма, если бы только мы могли представить себе способ, при помощи которого возможно привести железное тело в такое состояние. Но мне кажется по причинам, которые частью уже изложены в § 95, частью будут выведены, когда я буду говорить о намагничивании, что чрезвычайно

трудно добиться на деле, чтобы в железном теле на всем его протяжении магнитная жидкость или была в избытке, или была в недостатке. Действительно, как это станет совершенно ясно из излагаемого ниже, ни искусство, ни природа не знают никаких других способов наделения магнетизмом железного тела, кроме тех, которые совершенно бесполезны для нашей задачи, поскольку они сводятся к простому перемещению магнитной жидкости из одной части тела в другую. Я поэтому смог найти только один нижеследующий способ, с помощью которого можно с некоторой вероятностью надеяться получить тело, наделенное только одним видом магнетизма. Пусть существует тело A (фиг. XV), наделенное магнетизмом, и пусть в его части AC жидкость находится в избытке, а в AB — в недостатке. Предположим, что от AC отделена некоторая часть nC, а от другого конца AB отделена часть mB; ясно, что первая часть nC после отделения от магнита будет на всем протяжении наделена положительным магнетизмом, а вторая mB — на всем протяжении отрицательным магнетизмом.



Фиг. XV.

97. Читатели не останутся в неведении относительно того, какой результат дает этот опыт; ведь очень многие, которые описали опыты, относящиеся к магниту, говорят об этом подробно. Но прежде чем изложить, какой результат дали мои собственные опыты, относящиеся сюда, исследуем с возможной тщательностью, какие выводы должны или могут получиться из этого опыта в силу нашей теории. Итак, для того чтобы можно было приложить теорию к этому опыту, отметим прежде всего, что в магните A магнитная материя никогда не бывает распределена равномерно, так, чтобы, напр., в любой точке части AC, в которой жидкость находится в избытке, или в любой точке другой части AB, в которой

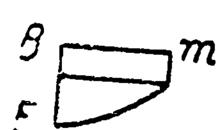
жидкость находится в недостатке, оно было одной и той же плотности. Правда, я выше предположил, будто это имеет место, но я не имел в виду утверждать, что это так бывает в природе в действительности. В самом деле, я предположил только для удобства расчета, что это так бывает и я мог это предполагать, пока я делал из этого предположения такие выводы, которые мало изменяются в зависимости от того, распределена ли жидкость в части *AC* или в части *AB* равномерно или неравномерно; но именно таковыми были те выводы, которые я выше делал из этого предположения. Правильнее будет допустить, как я покажу ниже, что плотности магнитной жидкости выражены некоторой кривой *DAE*, ординаты которой, *np* и *mq*, пропорциональны разности между плотностью, которую в действительности имеет магнитная материя в любой точке магнита, и естественной плотностью, т. е. той, которая существует в каждой точке, когда тело находится в естественном состоянии. Я принимаю при этом ординаты, проведенные вверх от оси, за положительные, а те, которые проходят ниже оси, за отрицательные.



Фиг. XVI.

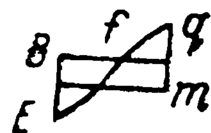
98. Теперь представим себе, что сперва от магнита отделена от его положительно-магнитной области *AC* некоторая часть *Cn* (фиг. XV и XVI). Во всей этой части жидкость, правда, будет находиться в избытке; однако она не будет распределена по ней равномерно, но часть *Dp* кривой плотностей, соответствующая части *nC*, будет выражать плотность в любой ее точке. Далее ясно, что, пока эта часть *nC* соединена была магнитом, от которого она отделяется, сила, стремящаяся к тому, чтобы рассеять содержащуюся в ней жидкость, была меньше, чем когда она совершенно отделяется от магнита. Отсюда следует, что в то мгновение, когда часть *nC* отделяется от магнита, некото-

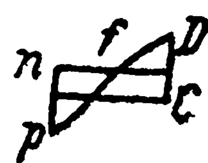
рая часть жидкости, накопившаяся в ней, может рассеяться и улетучиться из любой точки части nC. Итак, все ординаты кривой плотностей, или вернее части ее pD, приходящейся на Cn, уменьшаются на некоторую определенную величину. Совершенно невозможно, руководясь одной лишь теорией, определить, сколь велико должно быть это уменьшение; это можно узнать только при помощи опыта. Но, как можно без труда заметить уже на основании одной только теории, это уменьшение может стать столь большим, что из ординат, выражающих плотность магнитной жидкости, некоторые становятся отрицательными. В самом деле, предполо-





Фиг. XVII.





Фиг. XVIII.

жим, что ордината np, соответствующая точке n, уменьшается до того, что становится равной нулю (фиг. XVII); очевидно, вследствие того, что магнитная материя поблизости от C находится в избытке и обладает силой отталкивания, существует сила, стремящаяся вытолкнуть жидкость из точки n, хотя в этой точке имеется только естественное количество жидкости. Итак, поскольку эта сила все еще остается настолько значительной, что она в состоянии преодолевать сопротивление, которое встречает жидкость, продвигающаяся в порах железа, еще некоторое количество жидкости вытечет из точки n и смежных с ней частей; поэтому в этом случае ордината кривой плотностей, соответствующая точке n (фиг. XVIII), будет отрицательной, и тело nC в районе n окажется отрицательно-магнитным.

99. Все сказанное остается в силе и в том случае, если отрезок будет отделен от отрицательно-магнитной части AB (фиг. XV и XVI). Пусть этой отдельной частью будет Bm; часть кривой плотностей Eq отмечает плотность жидкости

в любой точке, вследствие чего вся часть Bm является отрицательно-магнитной, но близ точки B в большей степени, чем близ точки m. Далее ясно, что пока часть Bm соединена с магнитом, сила, побуждающая магнитную жидкость проникнуть в эту часть, будет меньшей, чем в том случае, если эта часть будет совершенно отделена от магнита. Итак, в то самое мгновение, в которое она отделяется от магнита, некоторая часть магнитной жидкости может проникнуть в каждую ее точку; а если это произойдет, то все ординаты кривой плотностей уменьшатся. Но хотя количественное определение этого уменьшения a priori невозможно, тем не менее, из рассуждений, подобных предыдущему случаю, легко становится очевидной возможность столь значительного уменьшения отрицательных координат, что они перейдут в свою противоположность и станут положительными.

Действительно, если мы сначала представим себе, что ординаты уменьшились до того, что та ордината, которая соответствует концу m и которая поэтому наименьшая из всех, равна нулю (фиг. XVII), то вследствие удаления магнитной жидкости с другого конца B, будет существовать сила, побуждающая магнитную жидкость к дальнейшему проникновению в тело. Итак, если эта сила остается настолько большой, что в состоянии преодолеть сопротивление, которое встречает жидкость в порах тела при своем продвижении, то некоторое количество магнитной жидкости проникает в район близ конца m, вследствие чего ординаты близ m станут положительными (фиг. XVIII), а тело mB в части m — положительно-магнитным.

100. Здесь мне следует прежде, чем я пойду дальше, дать объяснение значения одного термина, которым я постоянно пользуюсь в последующем изложении. Если мы представим себе магнит, у которого одна часть AC (фиг. IV) является положительно-магнитной, а другая AB — отрицательно-магнитной, то всегда может быть установлена точка,

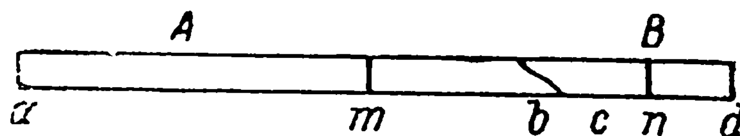
8*

отделяющая положительно-магнитную часть от отрицательно-магнитной, в которой вследствие этого плотность жидкости равна естественной; такова в этом случае точка *A*. Эту точку я буду в дальнейшем называть *магнитным центром*. Но в действительности эта граница, отделяющая положительно-магнитную часть от отрицательно-магнитной, не является точкой, но скорее некоторой поверхностью, вследствие чего и название „центр“ для обозначения ее, повидимому, не вполне подходящее. Однако читатели примирятся с этим термином, так как мне не удалось сразу же придумать более подходящего.

101. Теперь представим себе, что тот случай, о котором я говорил в § 98, имеет место в части *nC*, отделенной от положительной части *AC* магнита (фиг. XIV), а именно, что жидкость будет убывать из нее в такой мере, что ординаты близ *n* станут отрицательными; ясно, что в этом случае часть *nC* получит свой собственный магнитный центр. В самом деле, после того как рассеялось столько жидкости, что ордината, соответствующая точке *n*, стала равной нулю (фиг. XVII), магнитный центр попадает в эту же самую точку *n*. Если же затем еще некоторое количество жидкости будет вытекать и в дальнейшем, то магнитный центр перенесется из точки *n* в другую точку *f* (фиг. XVIII), поближе к середине тела *nC*; если же истечение жидкости будет продолжаться еще дольше, то и магнитный центр будет также переноситься дальше и отодвинется от конца *n* к середине тела. Все сказанное можно без труда перенести и на случай, разобранный в § 99. Действительно, если мы предположим, что кусок *mB* отрезан от отрицательной части *AB* магнита (фиг. XV), все сказанное в равной мере будет верно и для этого куска, и он получит магнитный центр, который будет тем дальше отодвигаться от конца *m* к середине, чем дольше будет продолжаться приток магнитной материи, до тех пор, пока он не приостановится совершенно. Итак, поскольку истечение и приток жидкости приостановятся тем

скорее, чем большее сопротивление встретит магнитная материя при своем прохождении через поры тела nC или mB, ясно, что и в том и в другом случае магнитный центр будет ближе к концу m, или соответственно n, и будет более удален от середины тела, если для опыта будет применена сталь или особенно твердое железо, чем если будет применено размягченное железо.

102. Теперь, после того, как я изложил то, что, согласно теории, должно или может иметь место в разбираемом опыте, я опишу здесь некоторые мои собственные опыты, из которых станет ясно, что не только не может быть речи о том, чтобы теория противоречила опытам, но, наоборот, во всех случаях с полной ясностью обнаруживается соответствие теории явлениям. Я приказал изготовить прут из чистой стали с квадратом в основании; каждая сторона этого квадрата была равна 2 линиям, длина прута — 10 дюймов и 3 линии; я принял меры к тому, чтобы он был как можно более твердым. Этот прут я сначала разломал на 2 части, из которых более длинная, которую я обозначу через A, имела длину 5 д. 9 л., а более короткая, которую я обозначу через B, 4 д. 4 л. Эти два куска я соединил между собой на деревянной доске в месте перелома и с силой прижал их друг к другу, так что они полностью соприкасались и могли считаться единым телом. Затем я намагнитил весь этот сложенный из двух частей прут по способу Кэнтона,[36] который я опишу ниже, и после этого обнаружил, что пока прут не был сдвинут со своего положения, он имел только два полюса, из которых md (фиг. XIX) был северным, а ma — южным, и, как и надлежало, только один магнитный центр, который был расположен в части A около точки m, так что $am = 5$ д. 2 л., а следовательно, магнитный центр находился почти на середине всего прута.



Фиг. XIX.

103. Затем я отделил куски A и B друг от друга и обнаружил, что кусок AB, который до того времени был наделен только одним видом магнетизма, приобрел уже два полюса. Именно, в части d он все еще обнаруживал северный магнетизм, но в части c — южный. Таким образом, кусок B имел собственный магнитный центр в точке n (фиг. XIX), но он был расположен не в середине куска, но оказывался более близким к концу c таким образом, что cn было равно 1 д. 8 л. (т. е. десятым долям), следовательно все еще отстоял от середины на 4 линии. Рассматривая также кусок A (читатели без труда заметят, что к нему могут быть применены все рассуждения, содержащиеся в §§ 98, 99 и 100), я обнаружил, что его магнитный центр, который раньше отстоял от конца b на 7 линий, изменил свое положение и продвинулся к середине прута, так что теперь bm стало равно 1 д. 4 л., а значит, он все еще отстоял от середины на 1 д. $5^1/_2$ л.

104. Эти явления ничем не противоречат теории, но, наоборот, полностью согласуются с сделанными из нее выше выводами, как это без труда поймет каждый. В каждом из двух кусков прута магнитный центр, как я только что указал, не был расположен точно в середине, но отстоял от нее на значительное расстояние; причину этого следует видеть в том сопротивлении, которое встречала магнитная жидкость, либо проникая в поры закаленной стали, либо выходя из них, как я показал в § 101. Поэтому я питал надежду на то, что через некоторое время оба центра переместятся еще ближе к середине прута. Ведь, как я показал выше, приток и истечение магнитной жидкости не прекращаются совершенно, но лишь значительно замедляются. Поэтому я, для того чтобы испытать, каким образом опыт приходит в согласие с теорией, поместил отдельно кусок A; осмотревши его снова примерно через полчаса, я нашел, что все произошло так, как я надеялся; действительно, расстояние магнитного центра от точки b, которое прежде, как мы нашли, было 1 д. 4 л., стало теперь 1 д. $5^1/_2$ л.

105. Так как, исходя из других соображений, я знал (как я покажу ниже в особом исследовании), что при сотрясении железа как бы открываются его поры, так что во время сотрясения свободнее передвигается по ним магнитная жидкость, я питал надежду, что при сильном сотрясении куска прута, магнитный центр продвинется еще более к середине. Поэтому я бросал кусок B около 50 раз с большой силой о каменный пол, и после того, как он подвергся этим 50 сильным потрясениям, я и в этом случае нашел, что результат совершенно совпадает с теорией. Ибо теперь расстояние магнитного центра от конца b, бывшее ранее равным 1 д. 8 л., стало равным 2 д. 0 л. То же происходило на куске A; после того как он 24 раза был брошен о пол, в нем магнитный центр придвинулся к середине еще на 1 л., так что теперь bm стал равен 1 д. $6^1/_2$ л.

106. В других случаях мне приходило на ум (это доказывают с очевидностью опыты, приводимые мною ниже), что в стали, пока она накалена или, по крайней мере, сильно нагрета, движение магнитной материи становится значительно более свободным. Отсюда, как мне казалось, вытекает следующее: если куски, о которых я говорил в связи с объяснением указанных явлений, поместить в огонь, то их магнитный центр должен будет передвинуться еще ближе к середине. Но так как эти соображения не пришли мне в голову в то время, когда я производил опыт, описанный выше, пришлось повторить весь опыт сначала. Итак, я взял хорошо закаленный стальной прут, имеющий 5 д. 9 л. в длину и такую же толщину, как и описанный выше. Я разломал его на два куска A и B (фиг. XIX), из которых A был в 4 д. 3 л. длиной, а B в 1 д. 6 л. Приложив их друг к другу способом, описанным выше, и намагнитив их, я нашел в них лишь один магнитный центр, расположенный в m; расстояние его от конца a было 2 д. 8 л., следовательно он мало отстоял от середины ad всей совокупностью прутьев. По отделении кусков друг от друга обнаружилось, что в куске A

магнитный центр приблизился к середине так, что *mb* стало теперь равно 1 д. 7 л., тогда как раньше *mb* равнялось 1 д. 5 л. Затем я поместил этот кусок в огонь и накалял его до тех пор, пока он не приобрел голубой цвет.[37] После полного охлаждения магнитный центр стал отстоять от конца *b* на 2 д. $^1/_2$ л., а следовательно, он оказался почти в середине. При опыте с другим подобным прутом, который имел в длину 4 д. 2 л. и магнитный центр которого отстоял от конца на 1 д. 7 л., а также при помощи нагревания я обнаружил, что центр передвинулся почти точно в середину — расстояние его от конца было равно 2 д. 1 л.

107. Перечисленными здесь не исчерпываются опыты, которые я поставил для решения этих вопросов, но я повторял их весьма часто и многократно. Так как во всех случаях получался совершенно сходный результат, то не имеет смысла описывать их подробнее. Итак, теперь мы можем с полным правом притти к убеждению, что при отрезывании куска от магнита не происходит ничего такого, что противоречило бы теории и что не согласовалось бы с ней достаточно убедительно. Совпадение опытов с рассуждениями обнаруживается прежде всего в следующем: оказывается, что магнитный центр, частью сам по себе, если для этого будет предоставлено достаточно времени, частью при наличии возможности более свободного движения жидкости в порах, все ближе и ближе перемещается к середине прута, совершенно так, как этого требует теория. Поставив те же опыты с прутьями из более мягкой стали, я обнаружил, что магнитный центр сразу же после отделения кусков друг от друга почти точно переходит в середину каждого куска, как этого требуют рассуждения, изложенные в § 101.

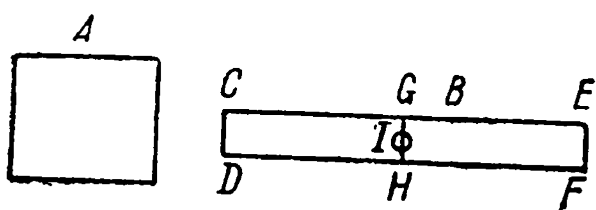


Глава II

ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ И МАГНИТНОМ ПРИТЯЖЕНИИ И ОТТАЛКИВАНИИ

107а.[38] Пусть в двух телах, находящихся одно вблизи другого, избыток жидкости, наделенной такими свойствами, какие мы приписывали магнитной и электрической жидкости, над естественным количеством ее, равен в первом α, во втором δ. В этом случае взаимное притяжение этих тел, как мы нашли в общем виде выше (§ 34), равно $\frac{-\alpha\delta r}{Qq}$. Так как эта формула охватывает все мыслимые случаи (§ 35) и превращается в нуль тогда, когда либо δ, либо α, либо обе эти величины одновременно принимаются равными нулю, то отсюда ясно, как мы доказали уже выше (§ 32), что не только эти два тела совершенно не действуют друг на друга, если каждое из них находится в естественном состоянии, но также, что сказанное остается в силе, если хотя бы одно из них окажется в естественном состоянии, если бы даже в другом жидкость находилась в избытке или недостатке. Итак, самым несомненным следствием из нашей теории является то, что любые тела, находящиеся в естественном состоянии, не притягиваются и не отталкиваются от каких бы то ни было других тел, наэлектризованных положительно или отрицательно. Я здесь не касаюсь магнетизма, ибо о нем надлежит говорить особо в дальнейшем.

108. Итак, нельзя ожидать какого-либо действия тел друг на друга, имеющего источником электричество, если эти тела находятся в естественном состоянии, лишь бы эти тела при приближении к какому-либо наэлектризованному телу сохраняли своё естественное состояние. Однако из выведенных выше основных положений следует, что всегда имеет место противоположное этому и что любые тела, находящиеся поблизости от другого наэлектризованного тела, должны сами стать электрическими, хотя бы при приближении к ним они еще были в естественном состоянии. Чтобы это стало ясным, вспомним о том, что мы сказали в предыдущей главе о действии наэлектризованных тел на частицы электрической жидкости, находящейся вне их. Именно, мы доказали в § 10, что электрическая жидкость, находящаяся вне тела A (фиг. XX), если в самом этом теле будет избыток жидкости, равный α, будет притягиваться к нему с силой, равной $\frac{-\alpha r}{Q}$, или, что то же, отталкиваться с силой, равной $\frac{+\alpha r}{Q}$. Итак, если тело B, находящееся в естественном состоянии, приблизится к телу A, то электрическая материя, находящаяся в этом теле, будет отталкиваться с такой же силой, равной $\frac{\alpha r}{Q}$. Следовательно, эта материя будет побуждаться к тому, чтобы оставить части $CDGH$, близкие к телу A, и переместиться к другому концу $GHEF$.



Фиг. XX.

109. Жидкость будет повиноваться этой силе, поскольку позволяют препятствия, которые могут существовать. Такое препятствие может возникнуть в результате сопротивления, которое встречает электрическая жидкость при продвижении по порам тела B. Так, если представить себе, что тело B является абсолютно электрическим по своей природе, то электрическая материя будет пребывать в его порах столь недвижной, что не сможет быть сдвинута никакой силой;

поэтому сила, выгоняющая ее, не произведет никакого эффекта, и тело B сохранит свое естественное состояние. Но если тело B является лишь несовершенно электрическим по своей природе, т. е. оказывает движению жидкости лишь некоторое, а не бесконечно большое сопротивление, тогда сила $\frac{\alpha r}{Q}$ будет действовать не совсем безрезультатно, но полного результата, тем не менее, она не достигнет; жидкость в тем меньшей степени будет повиноваться импульсу, чем тело будет более совершенным электрическим телом по своей природе, и в тем большей степени, чем тело будет менее совершенным электрическим телом по природе. Если же, наконец, тело B будет совершенно не электрическим по своей природе, то вследствие того, что сопротивление в этом случае будет равно нулю, сила $\frac{\alpha r}{Q}$ не может не достигнуть своего полного результата.

110. Первый из этих случаев, поскольку нам это до сих пор известно, в природе не имеет места, ибо до сих пор не найдено никакого тела, которое могло бы быть названо абсолютно электрическим по своей природе. Но если будет существовать или когда-либо будет обнаружено такого рода тело, то нет сомнения, что оно всегда будет сохранять свое естественное состояние при приближении к другим наэлектризованным телам, и поэтому никогда не будет притягиваться другими телами, какими бы способами мы их ни электризовали. Итак, к нам имеют отношение второй и третий случаи. Сперва рассмотрим несколько более тщательно последний из этих случаев. Итак, электрическая материя, повинуясь производимому на нее импульсу, перейдет из конца CD к более отдаленным частям тела B. При этом могут иметь место два различных случая. Либо тело B будет окружено со всех сторон телами, электрическими по своей природе, это будет иметь место, если тело будет, напр., подвешено на шелковой нити и будет окружено сухим воздухом; либо электрическая жидкость может свободно из него

вытекать, как будет, если оно прикоснется к телу, не электрическому по своей природе. В первом случае перегоняемая электрическая материя не сможет вытекать из тела *B*, и поэтому она по необходимости скопится близ конца *EF*. Следовательно, в таком случае тело *B* будет приведено в состояние, рассмотренное в § 15, и из части его *CDGH*, обращенной к телу *A*, будет удалена электрическая жидкость, а часть *EFGH* будет ею наполнена.

111. Чтобы можно было судить, каково взаимодействие между собой тел *A* и *B*, примем, что естественное количество электрической жидкости, приходящейся на часть *CDGH* или *EFGH*, равно Q, а количество, приходящееся на тело *A*, равно q; пусть далее избыток жидкости в теле *A* равен количеству δ, а количество жидкости, перегнанной из *CDGH* в *EFGH* примем равным β. Теперь если в общей формуле, выведенной в § 43, примем $a = -\beta$, $b = +\beta$, $c = 0$, $e = \delta$, $f = 0$, $g = 0$, то эта формула сможет быть применена для рассматриваемого случая, и взаимное притяжение тел *A* и *B* будет равно $\frac{-(-\beta r + \beta r')\delta}{Qq} = \frac{\delta\beta(r - r')}{Qq}$. Вследствие того, что $r > r'$, эта сила — положительна, откуда следует, что при принятых выше условиях тело *A* сперва сделает близкое к нему тело *B* электрическим, а затем уже будет его притягивать.

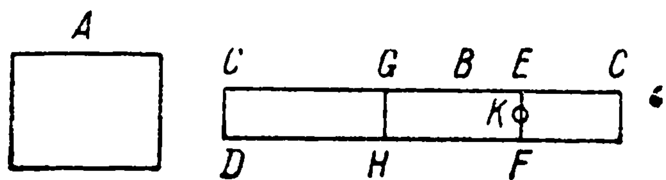
112. Само собой разумеется, что чем ближе придвинуть тело *B* к телу *A*, тем большею станет его сила отталкивания (§ 108). Итак, поскольку бо́льшая сила должна давать больший результат, а меньшая — меньший, ясно что удаление электричества из части *CDGH* и наполнение электричеством части *EFGH* должно возрастать в тем большей степени, чем ближе придвинуть эти тела друг к другу. Итак, очевидно, что β увеличивается с уменьшением и уменьшается с возрастанием расстояния, а следовательно, и сила притяжения $\frac{\delta\beta(r - r')}{Qq}$ окажется меньшей на бо́льших расстояниях, и большей — на меньших. Только такой вывод можно сде-

лать с помощью одной лишь теории; она не дает нам возможности представить себе ясно, каков именно тот закон, по которому сила притяжения изменяется в зависимости от изменения расстояния, и поэтому я пока не осмелюсь его определить. Однако же я питаю надежду, что с помощью изложенных здесь основ теории электричества, комбинированных с подходящими опытами, можно подготовить подход к этой тайне природы, и к этой цели я приложу в дальнейшем все свои усилия.

113. Для полного освещения того, что было сказано в предыдущем параграфе, допустим, что тело A путем приближения к телу B стало электрическим и что, как мы предположили, из $CDGH$ в $EFGH$ перегнано количество жидкости, равное β. Далее, представим себе некоторую частицу I жидкости, расположенную около GH, и определим силу, которая действует на эту частицу. С первого же взгляда ясно, что эта сила, побуждающая частицу I двигаться внутрь тела B, состоит из трех сил. Если сохранить употребленные выше обозначения, то пусть сила, с которой на частицу I действует естественное количество электрической жидкости, приходящейся на тело A, равна ρ', пусть та сила, с которой естественное количество жидкости, приходящейся на часть $CDGH$ или $EFGH$, действует на нее, равна ρ; пусть частица I отталкивается телом A в направлении к EF с силой, равной $\frac{+\delta\rho'}{q}$ (§ 10), а частью $EFGH$ в направлении к CD с силой, равной $\frac{\beta\rho}{Q}$, частью же $CDGH$ притягивается в направлении к CD с силой, равной $\frac{\beta\rho}{Q}$. Тогда вся сила, которая гонит эту частицу к EF, равна $\frac{\delta\rho'}{q} - \frac{2\beta\rho}{Q}$. Итак, электрическая жидкость должна переходить из части $CDGH$ в часть $EFGH$. Поскольку при этом переходе β все время возрастает, эта сила, являющаяся причиной перехода жидкости, становится все меньшей. Но совершенно прекратиться этот переход жидкости не может ранее, чем β возрастет настолько, что

$\frac{\delta\rho'}{q} - \frac{2\beta\rho}{Q}$ превратиться в нуль. Итак, чем больше будет $\frac{\delta\rho'}{q}$, тем бо́льшим будет β, т. е. количество жидкости, перегнанной из $CDGH$ в $EFGH$; поэтому при возрастании ρ', если расстояние между телами A и B уменьшается, то, чем больше эти тела приближаются друг к другу, тем бо́льшим становится β, как я принял в предыдущем параграфе.

114. Если же (мы переходим ко второму случаю) тело B соприкасается с некоторым другим телом C (фиг. XXI), неэлектрическим по своей природе, и не поставлено на другие тела, электрические по своей природе, так что электрическая жидкость может свободно вытекать, то накопление электрической жидкости в части $EFGH$, которое получалось в предыдущем случае, не имеет места. Если мы сделаем расчет силы, побуждающей частицу K, находящуюся близ поверхности FE, двигаться к телу C в том случае, когда жидкость, выгнанная из части $CDGH$, находится в части $EFGH$, и если примем, что частица K отталкивается естественным количеством жидкости, приходящейся на тело A, на часть $CDGH$ и на часть $EFGH$, соответственно, с силой ρ'', с силой ρ' и с силой ρ, то окажется, что она отталкивается телом A в направлении к C с силой, равной $\frac{\delta\rho''}{q}$, частью $EFGH$ с силой, равной $\frac{\beta\rho}{Q}$, а частью $CDGH$ влечется в противоположном направлении с силой, равной $\frac{\beta\rho'}{Q}$. Итак, вся сила, толкающая частицу K к C, будет равна $\frac{\delta\rho'}{q} + \frac{\beta(\rho - \rho')}{Q}$. Но очевидно, что, поскольку ρ больше ρ', эта сила будет всегда положительной и не может стать равной нулю. В этом случае накопление такого рода, какое было в предыдущем случае, не может иметь места, но жидкость, перегнанная



Фиг. XXI.

из $CDGH$ в $EFGH$, должна оттуда, по крайней мере частично, перейти в тело C.

115. Следовательно, чтобы понять надлежащим образом, что происходит в этом случае и в какое состояние должно притти тело B, примем, что избыток количества электрической жидкости в $EFGH$ (который, как мы только что доказали, не может быть равен β) равен γ, и если мы способом, сходным с тем, который мы применили в предыдущем параграфе, вычислим силу, толкающую частицу K в направлении к C, то мы найдем, что она равна $\frac{\delta\rho''}{Q} + \frac{\gamma\rho - \beta\rho'}{Q}$. Ясно, что тело B должно притти в такое состояние, чтобы эта сила стала равной нулю; ибо прежде, чем это произошло, выгнанная электрическая жидкость должна непрерывно переходить в тело C. Но для того чтобы формула $\frac{\delta\rho''}{Q} + \frac{\gamma\rho - \beta\rho'}{Q}$ превратилась в нуль, необходимо, чтобы количество $\frac{\gamma\rho - \beta\rho'}{Q}$ было отрицательным, ибо только в этом случае она может свести к нулю положительную величину $\frac{\delta\rho''}{q}$. Однако же ясно, что достаточно того, чтобы $\frac{\gamma\rho - \beta\rho'}{Q}$ было отрицательным, для того чтобы формула $\frac{\delta\rho''}{q} + \frac{\gamma\rho - \beta\rho'}{Q}$ могла превратиться в нуль.

116. Существуют различные случаи, когда количество $\frac{\gamma\rho - \beta\rho'}{Q}$ может стать отрицательным. Это будет иметь место, если:

1) само γ отрицательно; в этом случае и часть $EFGH$ будет отрицательно-электрической;

2) $\gamma = 0$; в этом случае часть $EFGH$ будет в естественном состоянии;

3) γ положительно, а следовательно и часть $EFGH$ положительно-электрическая, но $\gamma\rho < \beta\rho'$. Чтобы получить такой результат, необходимо, чтобы было $\beta > \frac{\gamma\rho}{\rho'}$. Но,

так как ρ всегда больше, чем ρ', или $\frac{\rho}{\rho'}$ больше единицы и, следовательно, $\frac{\gamma\rho}{\rho'}$ больше, чем γ, то необходимо во всяком случае, чтобы β значительно превосходило γ.

117. Если мы выведем формулы, которые в каждом из этих случаев выражают ту силу, с которой тела A и B притягиваются друг другом, подставив должные значения в общую формулу, выведенную в § 43, то получится:
для первого случая, когда γ отрицательно,

$$\frac{+(\beta r + \gamma r')\delta}{Qq};$$

для второго случая, когда $\gamma = 0$,

$$\frac{+\delta\beta r}{Qq};$$

для третьего случая, когда γ положительно,

$$\frac{+(\beta r - \gamma r')\delta}{Qq}.$$

В этом последнем случае $\beta > \gamma$; поэтому, если мы примем $\gamma = \beta - \mu$, найденная формула получит вид

$$\frac{+\delta\beta(r - r') + \delta\mu r'}{Qq}.$$

Все эти формулы положительны. И для этого случая верно то, что было верно для предыдущего (§ 111). Именно, тело B, приближаясь к телу A, сперва станет электрическим, а затем будет им притягиваться. Но, сверх того, необходимо еще отметить, что, хотя все условия принимаются такими же, в этом случае сила притяжения бóльшая, чем в предыдущем. Ибо все найденные здесь формулы больше, чем $\frac{\delta\beta(r - r')}{Q}$, а этой формулой, согласно § 111, выражается сила притяжения, имеющая место в первом случае.

118. Если мы теперь рассмотрим тот случай, когда тело B хотя и электрическое по своей природе, но лишь в несовер-

шенной степени, то ясно, что все рассуждения, которые мы применяли до сих пор, могут быть перенесены и на этот случай, и результат во всех случаях должен быть сходным. Действительно, здесь имеет силу все то, что было сказано прежде (§§ 110, 117); единственной разницей будет то, что вследствие сопротивления, которое встречает в порах тел такого рода электрическая жидкость при своем передвижении, сила, побуждающая жидкость к переходу, будет иметь менее полный успех. Отсюда можно сделать только тот вывод, что количество электрической материи, перегнанной из *CDGH* в *EFGH*, будет меньшим, чем было бы, если бы тело было совершенно неэлектрическим по своей природе. Итак, обобщая, можно сказать, что и такие тела, при приближении к положительно наэлектризованному телу, сами становятся электрическими и затем притягиваются, но, поскольку они не в такой степени удаляются от естественного состояния, как тела, неэлектрические по своей природе, и их β меньше, чем β тел, неэлектрических по природе, то и сила, с которой притягиваются тела, электрические по своей природе, будет действовать медленнее, чем та, с которой притягиваются тела, неэлектрические по природе, в одних и тех же условиях. Ибо легко видеть, что значения выражений для сил притяжения уменьшаются при уменьшении β.

119. До сих пор мы рассматривали случай, когда электрическая жидкость в *A* находится в избытке. Если мы теперь перейдем ко второму случаю, когда в этом теле количество жидкости уменьшается до уровня ниже естественного, то очевидно из § 12, что электрическая жидкость притягивается к телу *A* с силой, равной $\frac{+\alpha r}{Q}$. Поскольку эта сила положительна, жидкость, содержащаяся в теле *B*, уже не отталкивается, как в предыдущем случае, но притягивается к поверхности *CD*, вследствие чего она должна оставлять часть *EFGH* и удаляться к части *CDGH*. Если теперь мы займемся исследованием того, какие это должно

иметь последствия, то поймем без труда, что сюда полностью приложимы рассуждения, сходные с тем, которое было применено для предыдущего случая.

120. Итак, если для первого случая принять, что тело B (фиг. XX) будет неэлектрическим по своей природе, но будет окружено другими телами, электрическими по природе, которые в состоянии помешать свободному притоку и истечению жидкости, и если, сохранив прежде принятые обозначения, недостаток количества жидкости в A обозначить через δ, а количество жидкости, переходящее из $EFGH$ в $CDGH$, — через β, и если расчет будет произведен способом, сходным с применением в § 111, то взаимное притяжение тел окажется, совершенно так же, как и выше, равным $\frac{\delta\beta(r-r')}{Q}$. Итак, и для этого случая видно все то, что было доказано в §§ 112 и 113. Ибо та сила, которая в этом случае побуждает частицу I, находящуюся около GH, к переходу из части $EFGH$ в часть $CDGH$, в результате расчета, сходного с тем, которым я пользовался в § 113, оказывается равной $\frac{\delta\rho'}{q}-\frac{2\beta\rho}{Q}$. Следовательно, чем больше $\frac{\delta\rho'}{q}$, т. е. чем более приближаются друг к другу тела A и B, тем бо́льшим должно быть β для того, чтобы сила, действующая на частицу I, стала равной нулю. Итак, чем ближе друг к другу тела A и B, в тем большей степени жидкость улетучивается из $EFGH$ и накопляется в $CDGH$; вместе с тем возрастает сила, с которой притягиваются тела и которая является некоторой функцией расстояния, до сих пор, однако, неизвестной.

121. Если электрическая материя может свободно проникать в тело B, как это бывает в том случае, когда с ним вступает в соприкосновение неэлектрическое по своей природе тело C (фиг. XXI), то частица жидкости K, находящаяся около поверхности EF, вынуждается к проникновению в часть $EFGH$ с силой, равной $\frac{\delta\rho'}{q}+\frac{\gamma\rho-\beta\rho'}{Q}$, где γ выражает недостаток количества жидкости в $EFGH$ (это ясно

из рассуждения, сходного с тем, которое мы применили в § 115), и это проникновение жидкости сможет прекратиться лишь после того, как эта сила станет равной нулю. Но так как это может произойти только в тех трех случаях, о которых было сказано в § 116, то очевидно, что γ должно стать или отрицательным, или равным нулю, или хотя и положительным, но меньшим, чем количество $\frac{\beta\rho'}{\rho}$. В первом случае часть *EFGH* будет положительно-электрической, во втором она будет находиться в естественном состоянии, в третьем она будет хотя и отрицательно-электрической, но в значительно меньшей степени, чем *CDGH*. Если формулы, выражающие силу притяжения тел, вывести посредством способа, сходного с примененным в § 117, то получится:

для первого случая, когда γ отрицательное,

$$\frac{+(\beta r + \gamma r')\,\delta}{Qq};$$

для второго случая, когда $\gamma = 0$,

$$\frac{+\delta\beta\rho}{Qq};$$

для третьего случая, когда γ положительно,

$$\frac{+(\beta r - \gamma r')\,\delta}{Qq}.$$

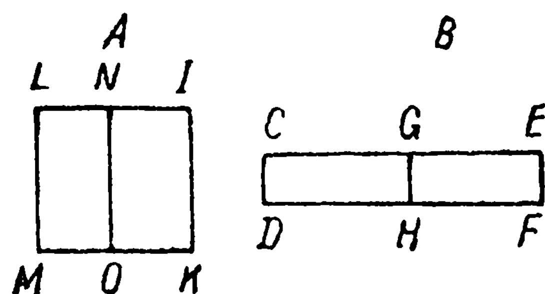
Но так как в этом случае $\beta > \gamma$, то после подстановки $\beta - \mu$ вместо γ, получится

$$\frac{+\delta\beta\,(r - r') + \delta\mu r'}{Qq}.$$

Итак, и для этого случая остается верным утверждение, что тело *B*, если его приблизить к отрицательно-электрическому телу, сначала становится электрическим, а затем подвергается притяжению. Ясно, далее, что все то, на что я обратил внимание относительно количества этих сил в конце § 117, верно также и для этого случая. Если, наконец, тело *B*,

находящееся поблизости от отрицательно-электрического тела *A*, будет электрическим по своей природе, но не в высшей степени, а будет таким лишь несовершенно, то, применяя рассуждения, содержащиеся в § 118, мы придем к тем же выводам, что и там.

122. До сих пор мы рассматривали только те случаи, когда все тело *A* приведено в такое состояние, что оно стало или положительно- или отрицательно-электрическим. Но может иметь место еще и третий случай, когда тело *A* обладает в одной части положительным электричеством, а в другой — отрицательным; такой случай налицо в Лейденской банке. Этот случай, после того что было сказано выше, уже нетрудно истолковать. Действительно, в §§ 21 и 24 было показано, что состояние, в котором находится тело *A*, может быть трояким, если его электризовать тем способом, как я указал. В самом деле, либо часть *NOIK* (фиг. XXII), обращенная к телу *B*, вовсе не действует на электрическую жидкость, либо тело *A* этой своей частью притягивает жидкость или, наконец, она отталкивает эту жидкость. В первом случае тело *A* не действует на электрическую жидкость содержащуюся в *B*. Итак, тело *B*, если его приблизить к телу *A*, сохраняет свое естественное состояние, и поэтому не происходит никакого взаимодействия между телами. Если же тело *A* своею частью *IK* отталкивает жидкость, то легко понять, что на этот случай могут быть перенесены все те рассуждения, которыми я пользовался в §§ 113 и 118. Действительно, поскольку в этом случае тело *A* вообще действует на электрическую жидкость, находящуюся вне его, как положительно-электрическое тело, само собою разумеется, что все то, что выше было показано для положительно-электрического тела, верно равным образом и для настоящего случая. Если же тело *A* притя-



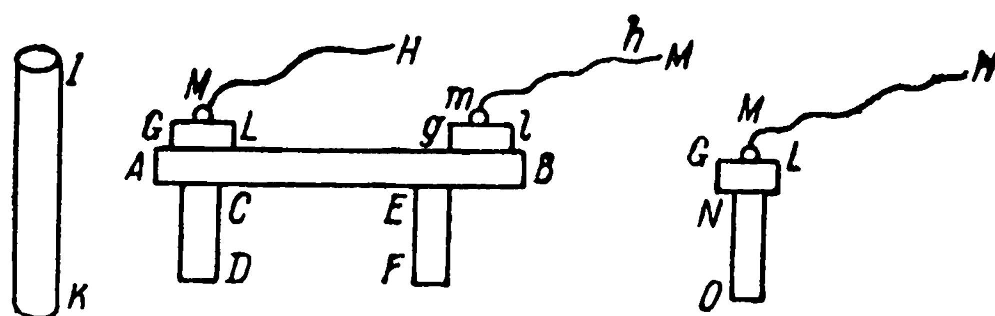
Фиг. XXII.

гивает жидкость частью, обращенной к телу B, то его можно считать отрицательно-электрическим, ибо оно в этом случае действует совершенно так, как отрицательно-электрическое тело; поэтому то, что было сказано в §§ 119 и 121, может быть приложено и к этому случаю. Все это в достаточной мере очевидно; поэтому мы вправе избавить себя от труда приведения более подробного расчета, необходимого для выведения формул, имеющих силу для этих случаев. Однако, если кто-нибудь желает получить эти формулы, то он без труда сможет их вывести из § 43.

123. Теперь необходимо подвергнуть рассмотрению вопрос, в какой мере предложенные выше рассуждения, основанные на теории, согласуются с опытом; здесь мы обнаружим полное совпадение. В самом деле, прежде всего, общеизвестно, что любое тело, находящееся в естественном состоянии, будучи придвинуто к наэлектризованному телу, притягивается им в полном согласии с требованиями теории; поэтому в этой части выведенные здесь предложения не нуждаются в дальнейшем подтверждении опытами. Но я утверждал еще, основываясь на теории, что это притяжение начнет иметь место лишь с того момента и после того момента, когда притягиваемое тело и само станет электрическим. Итак, основное значение в данном случае имеет то, удастся ли нам опытным путем доказать, что всякое тело, находящееся в естественном состоянии, будучи придвинуто к наэлектризованному телу, само выходит из естественного состояния и становится электрическим. Хотя благодаря открытиям Франклина, это стало ясным до такой степени, что мы вряд ли нуждаемся в новых опытах, тем не менее, я считаю делом, стоящим труда, сопоставить эти опыты с теорией, чтобы не могло остаться никакого сомнения в правильности защищаемых мною предложений.

124. Положим на стеклянные подставки CD и EF (фиг. XXIII) металлический прут AB, имеющий в длину приблизительно 1 фут, и на один из его концов положим какой-нибудь

металлический брусок GL, имеющий в длину приблизительно $1^1/_2$ дюйма, с крючком M посередине, к которому привязана хорошо высушенная шелковая нить HM. Затем возьмем стеклянный электризационный цилиндр IK и, после того как он будет наэлектризован трением, поднесем его примерно на расстояние 1 дюйма к концу прута A, и пусть он остается неподвижным в таком положении. Затем поднимем в воздух, с помощью шелковой нити HM, кусок металла GL и положим его на какую-нибудь стеклянную подставку NO. Если подвергнуть исследованию тело GL, то оно окажется электрическим, и притом отрицательно-электрическим. Для второго опыта пусть все останется таким же, как было описано; стеклянную трубку IK снова поднесем к концу A, но тело GL положим на другой конец прута B; если все останется, как в предыдущем опыте, то тело gl (то же, что GL), будучи положено на подставку NO, опять станет электрическим, но будет уже обладать электричеством, противоположным тому, что прежде, т. е. положительным. Если же вместо стеклянной трубки возьмем цилиндр из серы, то результат будет во всем сходный, но только теперь в обратном порядке: GL, будучи положено на конец A, окажется положительно-электрическим, а будучи положенным на конец B, он окажется отрицательно-электрическим. Эти четыре опыта с полной очевидностью доказывают правильность изложенного мною выше; это настолько ясно, что я могу обойтись без дальнейших объяснений.



Фиг. XXIII.

125. Затем, снова положив тело GL на конец прута A, снова приблизим стеклянную трубку или наэлектризованный цилиндр из серы к A и теперь пусть к пруту у его конца B прикоснется какое-нибудь тело, неэлектрическое по своей

природе, через которое электрическая материя может свободно притекать или утекать. Если затем поднимем тело GL и положим его на подставку NO, то оно окажется снова электрическим, но положительно-электрическим, если применялся серный цилиндр, и отрицательно-электрическим, если применялась стеклянная трубка. Наконец, если тело GL будет положено на прут около точки B, а остальное произойдет с соблюдением всего того, что соблюдалось раньше, при применении стеклянной трубки, то окажется, что иногда тело GL приобретает, как и в предыдущем случае, отрицательное электричество, иногда вовсе его не приобретает, а иногда — положительное, но в очень незначительной степени. Если же заменить стеклянную трубку цилиндром из серы, то и в этом случае тело окажется иногда положительно-электрическим, иногда находящимся в естественном состоянии, иногда же отрицательно-электрическим, но лишь в незначительной степени. Причина этих явлений очевидна из §§ 115 и 121, с которыми эти явления настолько согласуются, что ясно показывают правильность изложенных там рассуждений.

126. Эти опыты и сопоставление их с теорией, могут, как я полагаю, снять всякие сомнения, которые могли бы возникнуть в связи с выставленным мною выше (§ 33) парадоксальным положением, в силу которого тело, находящееся в естественном состоянии, поскольку и пока оно в нем находится, не притягивается и не отталкивается никаким наэлектризованным телом. Тем не менее, я считаю стоящим труда делом присоединить сюда еще кое-что, что̀ может пролить более яркий свет на это дело. Если верно то, что я выше сказал о притяжении тел, находящихся в естественном состоянии, то, очевидно, отсюда следует, что тела должны притягиваться с тем большей силой, чем в большей степени они становятся электрическими благодаря приближению наэлектризованного тела; и это действие будет тем слабее, чем большее сопротивление они встречают и чем

в меньшей степени они становятся электрическими в указанных условиях. Итак, очевидно, что тела, электрические по своей природе, вследствие сопротивления, которое встречает электрическая материя при продвижении в их порах, всегда будут при приближении к наэлектризованному телу в меньшей степени электрическими, чем это происходит в сходных же условиях с телами, неэлектрическими по своей природе (§§ 118 и 121); это вполне совпадает с данными опыта, свидетельствующими о том же; поэтому из нашей теории и из предложенного здесь способа объяснения электрического притяжения следует, что при всех прочих одинаковых условиях тела, электрические по своей природе, должны притягиваться слабее, чем тела, неэлектрические по природе, а из электрических тел всегда должны притягиваться слабее те, которые являются в большей степени электрическими по своей природе, а сильнее — те, которые в меньшей степени. Все те, кто занимался постановкой опытов с электричеством, прекрасно знают, что в этом случае теория согласуется с данными опыта. Более того, так как опыт сам по себе показывает, что все тела, поднесенные к наэлектризованным телам, становятся электрическими и притягиваются, однако же слабее те, относительно которых можно заметить, что они в более слабой степени электрические, то и помимо теории имеется достаточная причина для того, чтобы притти к следующему выводу: если некоторое тело, поднесенное к наэлектризованному телу, не станет вовсе электрическим, то оно и притягиваться не будет вовсе.

127. Далее наблюдается явление, уже упомянутое выше (§ 33), которое, если не принять нашей теории, следовало бы признать поразительным парадоксом, но причина которого, тем не менее, становится с первого же взгляда ясной с точки зрения нашей теории. Будем тереть друг о друга два зеркальных стекла *ABCD* и *EFHG* (фиг. IX), способом, указанным в § 55. Если после натирания отделить их друг от друга, каждое из них, взятое в отдельности, притягивает ша-

рик подвеса *NO*. Поэтому, если соединить эти пластинки, то следовало бы ожидать, поскольку и первая и вторая, взятые в отдельности, притягивают подвес, что их совокупность должна производить еще более сильное притягивающее действие, чем то, которое имеет место при применении лишь одной из них. В самом деле, так как теперь подвес находится под воздействием двух сил, производящих одно и то же действие, из которых одна исходит из пластинки *ABCD*, а другая из пластинки *EFHG*, то, согласно элементарным законам логики, повидимому, следует заключить, что, поскольку сила примерно удвоилась, и результат ее действия должен возрасти приблизительно вдвое. Однако опыт, как я отметил уже в § 55, дает прямо противоположный результат. Как только обе пластинки соединяются, сила притяжения перестает чем бы то ни было проявлять себя и почти уничтожается. Это явление всегда чрезвычайно трудно было объяснить тем, которые не желают принять нашу теорию. Но если принять ее, то причина этого явления обнаруживается без труда, ибо пластинка *ABCD* (если она является, скажем, положительно-электрической), отталкивая электрическую материю, содержащуюся в шарике *O*, стремится привести этот шарик в такое состояние, чтобы он стал отрицательно-электрическим на стороне, обращенной к пластинке, и положительно-электрическим на стороне, противоположной пластинке. Наоборот, пластинка *EFGH*, являющаяся отрицательно-электрической, будучи приведена в соприкосновение с подвесом, стремится произвести диаметрально противоположное действие: притягивая электрическую жидкость, находящуюся в шарике, она стремится часть шарика, обращенного к пластинке, сделать положительно-электрической, а часть шарика, обращенную в противоположную сторону, — отрицательно-электрической. Итак, поскольку эти противоположные друг другу силы равны между собой (§ 60), ни одна из них не приводит к результату, но шарик *O* сохранит естественное положение неизменным, и, согласно

нашей теории, не сможет притягиваться ни положительно-электрической пластинкой *ABCD*, ни отрицательно-электрической *EFGH*, а следовательно, ни их совокупностью. Итак, этот опыт показывает с очевидностью, что как только в теле получение электричества прекращается, тотчас становится равным нулю и воздействие наэлектризованных тел на него.

128. Нам пора уже перейти к более тщательному рассмотрению явлений, которые возникают, если близкие друг к другу тела *A* и *B* (фиг. XXII) обладают либо оба положительным, либо оба отрицательным электричеством. Правда, может показаться, что этот случай исчерпывается тем, что было сказано в § 36; однако необходимо заметить, что мы в этом месте рассматривали взаимодействие тел, поскольку и пока они находятся в том состоянии, которое мы у них предположили, но мы не приняли во внимание того изменения в этом состоянии, которое имеет место в этих телах при приближении их друг к другу; поэтому необходимо признать, что этот вопрос вполне заслуживает особого рассмотрения сверх того, что было уже сказано. Итак, представим себе сперва, что каждое из двух тел *A* и *B*, приближающихся друг к другу, положительно-электрическое, и будем исследовать, что́ должно произойти с этими телами. Примем, что количество электрической жидкости, накопившееся в теле *A* сверх естественного количества, равного $2q$, равно количеству α, а накопившееся в *B* сверх естественного количества, равного $2q$, равно количеству β.

129. Из сказанного выше нетрудно видеть, что это тело *A* отталкивает электрическую жидкость, содержащуюся в *B*, а тело *B* в свою очередь — ту жидкость, которая содержится в *A*. Следовательно, электрическая жидкость, перегоняемая из концов *CD* и *IK* к *EF* и *LM*, не может оставаться распределенной равномерно, как было до сближения тел, но некоторая ее часть должна оставить части *NOIK* и *CDGH* и уйти в *LMNO* и *GHEF*. Пусть количество жидкости, переходящей из *IKNO* в *LMNO*, равно η, а количество жид-

кости, вытекшей из $CDGH$ в $GHEF$, равно ϑ; если мы теперь в формуле, выведенной в § 43, примем $e=\frac{\alpha}{2}-\eta$, $f=\frac{\alpha}{2}+\vartheta$, $g=0$, $a=\frac{\beta}{2}-\vartheta$, $b=\frac{\beta}{2}+\vartheta$, $c=0$, то эта формула будет служить выражением той силы, с которой тела A и B притягивают взаимно друг друга.

130. Величина количеств η и ϑ зависит, само собой разумеется, от величины силы отталкивания, которой обладают тела B и A, а эти силы в свою очередь зависят как от избытка количества жидкости в каждом из тел, так и от взаимного расстояния тел друг от друга, как это видно из формулы, выведенной в § 10; поэтому, как это легко понять, можно так выбрать как избыток количества жидкости или в A, или в B, или в обоих телах одновременно, так и расстояние друг от друга, чтобы либо η превосходило $\frac{\alpha}{2}$, или ϑ стало больше, чем $\frac{\beta}{2}$, или чтобы одновременно имело место и то и другое. Итак, возможно, что либо только a, либо только e, либо обе величины сразу будут отрицательными. Пока все четыре величины a, b, e и f положительны, само собой разумеется, что формула $\frac{-(ar+br')e-(a\rho+b\rho')f}{Qq}$ при подстановке положительных значений будет всегда оставаться отрицательной. Но если принять, что либо a, либо e, либо обе величины одновременно получают отрицательное значение, то она будет:

1) либо

$$\frac{+(ar-br')e+(a\rho-b\rho')f}{Qq},$$

2) либо

$$\frac{+(ar+br')e-(a\rho+b\rho')f}{Qq},$$

3) либо

$$\frac{+(br'-ar)e-(b\rho'-a\rho)f}{Qq}.$$

Как видно из этих формул, каждой из них можно придать либо положительное, либо нулевое, либо даже отрицательное значение. Итак, возможны различные результаты, если два положительно-электрических тела приближаются друг к другу; эти случаи можно удобно свести к трем. Действительно, либо η и ϑ имеют такие значения, что сила притяжения тел A и B станет отрицательной, и после этого они будут отталкивать друг друга; либо эта сила положительна, и тела притягивают друг друга; либо, наконец, никакого притяжения нет, и тела вовсе не действуют друг на друга.

131. В этом причина некоторых замечательных явлений, которые, как может показаться, содержат нечто парадоксальное и не имеющее аналогий в других делах природы. Так, напр., возможен случай, когда два тела, будучи удалены друг от друга на более значительное расстояние, отталкивают друг друга; если же какая-либо внешняя сила побуждает их приблизиться друг к другу, они начинают притягивать друг друга. В самом деле, пока тела отстоят друг от друга на более значительное расстояние, силы отталкивания, с которыми каждое из них действует на жидкость, содержащуюся в другом, незначительны, а поэтому η и ϑ — величины, достаточно малые. Поэтому возможен такой случай, когда $\eta < \frac{\alpha}{2}$ и $\vartheta < \frac{\beta}{2}$, и, следовательно, a и e имеют положительные значения, и тела A и B отталкивают друг друга (§ 130). Но так как при дальнейшем приближении тел, силы отталкивания, а следовательно, η и ϑ возрастают с уменьшением расстояния, то вполне возможно, что в этом случае количество $e = \frac{\alpha}{2} - \eta$ и $a = \frac{\beta}{2} - \vartheta$, либо оба вместе, либо, по крайней мере, одно из них станет отрицательным, и вся сила, с которой тела отталкиваются одно от другого, равным образом получит отрицательное значение (§ 130).

132. Далее возможен и такой случай, когда тело A, пока оно является электрическим лишь в незначительной степени, отталкивает тело B, если же оно электризуется в большей

степени, то оно начинает притягивать это тело. В самом деле, если тело A электрическое в незначительной степени, то его сила отталкивания, с которой оно действует на жидкость, содержащуюся в B, мала, а следовательно, будет мало и ϑ. Поэтому возможно, что в этом случае количество $a = \frac{\beta}{2} - \vartheta$ и все четыре количества a, b, e и f положительны. Если же избыток количества электрической жидкости в A увеличится, возрастет и ϑ, вследствие чего в этом случае $\frac{\beta}{2} - \vartheta = a$ может стать отрицательным, а сила, с которой тела A и B действуют друг на друга, может превратиться в положительную, или в силу притяжения.

133. Эти явления могут показаться противоречащими присущей природе аналогии, поскольку в первом из них (§ 131) сила не возрастает с уменьшением расстояния, как это свойственно природе в других случаях, но, напротив, уменьшается, проходя через нуль и переходя в свою противоположность; точно так же и во втором описанном явлении (§ 132) сила не увеличивается с увеличением массы, но, наоборот, перейдя через нуль, уменьшается, изменяясь в обратную сторону, что совершенно противоречит обычному порядку вещей в природе. Поэтому несомненно, что эти явления следовало бы считать величайшими парадоксами, если бы наша теория не объясняла исчерпывающим образом и происхождение их и полное согласие их с основными законами природы. Нашу теорию необходимо признать наиболее вероятной в значительной степени еще потому, что если исходить из нее, то эти парадоксальные явления очень хорошо согласуются с основными законами природы; я очень сильно сомневаюсь, чтобы такого же удачного результата можно было достичь при помощи других придуманных до сих пор гипотез.

134. Совершенно то же получается, если оба тела A и B отрицательно-электрические. Действительно, в этом случае тело A притягивает электрическую материю; нахо-

дящуюся в B, и точно так же тело B — ту материю, которая содержится в A. Отсюда следует, что электрическая жидкость не остается равномерно распределенной, как было прежде, чем тела стали приближаться друг к другу. Теперь некоторая часть жидкости должна перейти из $EFGH$ в $CDGH$ и из $LMNO$ в $IKNO$. Следовательно, если мы примем, что недостаток количества жидкости в A равен α, в B равен β, и, далее, обозначим количество жидкости, которое перешло из $LMNO$ в $IKNO$, через η, а то количество, которое перешло из $EFGH$ в $CDGH$, через ϑ, и если затем мы подставим в общую формулу (§ 43) $e = -\frac{\alpha}{2} + \eta$, $f = -\frac{\alpha}{2} - \eta$, $g = 0$, $a = -\frac{\beta}{2} + \eta$, $b = -\frac{\beta}{2} - \eta$, $c = 0$, или, что сводится к одному и тому же, если мы в формуле § 43 примем количества a, b, e и f за отрицательные, а g и c за нуль [в этом случае получается $\frac{-(ar + br')e - (a\rho + b\rho')f}{Qq}$, т. е. та же формула, которая получается, когда a, b, e, f положительны] и затем подставим $e = \frac{\alpha}{2} - \eta$, $f = \frac{\alpha}{2} + \eta$, $a = \frac{\beta}{2} - \eta$, $b = \frac{\beta}{2} + \eta$, то получится формула, которая выражает для этого случая действие тел A и B друг на друга.

135. Если рассуждать так же, как в предыдущем случае (§ 130), то станет ясно, что соответственно различной величине, придаваемой количествам η и ϑ, сила притяжения тел A и B может быть либо отрицательной, либо положительной, либо в некоторых случаях также и равной нулю; поэтому и из разбираемого случая можно сделать те же выводы, что и из предыдущего. А именно, отрицательно-электрические тела A и B, близкие друг к другу, или отталкивают друг друга, или притягивают, или совершенно не действуют друг на друга. Далее и в этом случае имеют место явления, рассмотренные в §§ 131 и 132. Действительно, и в этом случае возможно не только то, что два отрицательно-электрических тела на большем расстоянии отталкивают друг друга, а будучи сближены друг с другом, начинают притя-

гивать одно другое, но и то, что тело *A*, отрицательно-электрическое в небольшой степени, отталкивает тело *B*, а будучи сильнее наэлектризовано, притягивает его. Нет нужды подробнее останавливаться на этом, поскольку все это доказывается совершенно так же, как это было сделано в §§ 131 и 132.

136. Путем подобных же рассуждений разрешается, наконец, и последний случай, когда, одно из тел, сближаемых между собой, напр. *A*, положительно-электрическое, а другое, *B*, отрицательно-электрическое. В этом случае тело *A* отталкивает электрическую материю, содержащуюся в *B*, а тело *B* притягивает электрическую материю, находящуюся в *A*; вследствие этого, хотя некоторое количество электрической материи и переходит из части *LMNO* в *NOIK*, но часть этой материи из части *CDGH* перегоняется в *EFGH*. Следовательно, если избыток количества жидкости в *A* мы назовем α, недостаток количества жидкости в *B* назовем β, количество жидкости, которое переходит из *LMNO* в *IKNO*, назовем η, а то, которое перегнано из *CDGH* в *EFGH*, назовем ϑ, то мы без труда получим формулу для силы, с которой тела *A* и *E* притягивают друг друга. Именно, если в общую формулу § 43 подставим $e=\frac{\alpha}{2}+\eta$, $f=\frac{\alpha}{2}-\eta$, $g=0$, $\alpha=-\frac{\beta}{2}-\vartheta$, $b=-\frac{\beta}{2}+\vartheta$, $c=0$, или же, если в общей формуле принять g за нуль, e и f за положительные величины, a и b за отрицательные и c за нуль, так что получается $\frac{+(ar+br')e+(a\rho+b\rho')f}{Qq}$, и затем подставим $e=\frac{\alpha}{2}+\eta$, $f=\frac{\alpha}{2}-\eta$, $a=\frac{\beta}{2}+\vartheta$, $b=\frac{\beta}{2}-\vartheta$, то получится искомая формула.

137. Так как η и ϑ возрастают с возрастанием силы отталкивания тела *A* и силы притяжения тела *B*, то очевидно, что в зависимости от различной степени электризации тел *A* и *B* и от различного расстояния, на которое эти

тела приближаются друг к другу, величины $\frac{\alpha}{2}-\eta$, или f и $\frac{\beta}{2}-\vartheta$, или b могут быть то положительными, то равными нулю, то отрицательными. Пока f и b остаются положительными, формула $\frac{(ar+br')e+(a\rho+b\rho')f}{Qq}$, само собой разумеется, также сохраняет положительное значение; поэтому тела A и B в этом случае притягивают друг друга. Столь же легко доказывается, что и в том случае, когда либо только b, либо только f станет отрицательным, формула также сохранит положительное значение. Для уяснения этого, прежде всего заметим, что даже в том случае, когда b остается отрицательным, невозможно, чтобы значение формулы стало больше, чем a. Действительно, я утверждаю, что в случае, если $b=\frac{\beta}{2}-\vartheta=-\gamma$, будем иметь $a=\frac{\beta}{2}+\vartheta>\gamma$. В самом деле, если $b=\frac{\beta}{2}-\vartheta=-\gamma$, то $\vartheta=\frac{\beta}{2}+\gamma$, откуда $a=\beta+\gamma$; а это значение, очевидно, больше, чем γ. Рассуждая таким образом, легко показать, что в том случае, если f становится отрицательным и равно $-\delta$, e будет больше, чем δ, так как в этом случае оно равно $\alpha+\delta$. Если теперь мы примем

1) только b отрицательным, то наша формула примет вид $\frac{+(ar-br')e+(a\rho-b\rho')f}{Qq}$, и ввиду того, что $r>r'$, $\rho>\rho'$ и $\alpha>b$, очевидно, будут положительными как $ar-br'$, так и $a\rho-b\rho'$, а следовательно, и вся формула будет иметь положительное значение. Если же

2) только f будет отрицательным, то наша формула примет вид $\frac{+(ar+br')e-(a\rho+b\rho')f}{Qq}$ или $\frac{+(er-f\rho)a+b(er'-\rho'f)}{Qq}$, причем и в этом случае вследствие того, что $r>\rho$, $r'>\rho'$ и $e>f$, вся формула будет иметь положительное значение.

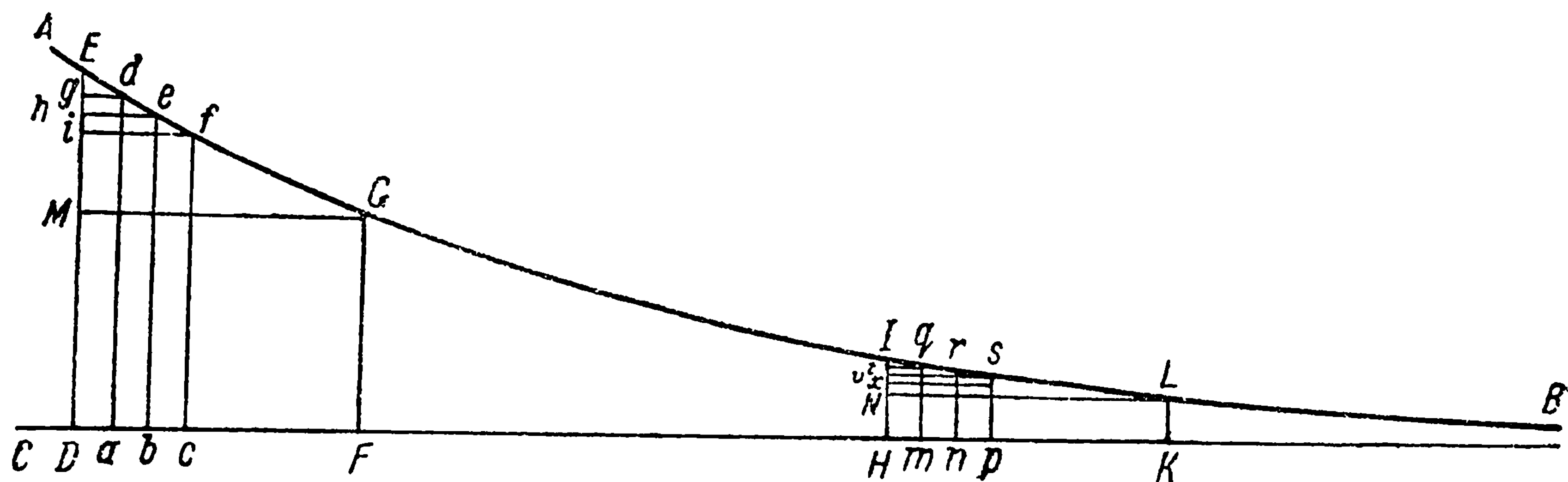
138. Труднее третий, остающийся еще случай, когда b и f одновременно отрицательны; вряд ли возможно разрешить его только при помощи теории, пока неизвестно функциональное выражение, согласно которому частицы

электрической жидкости отталкивают друг друга. В этом случае сила притяжения тел A и B равна $\frac{+(ar - br')e - (a\rho - b\rho')f}{Qq}$, где, как это ясно из предыдущего параграфа, $a > b$ и $e > f$. Примем поэтому, что $a = b + \mu$, $e = f + \nu$, $r - r' = m$, $\rho - \rho' = n$; в таком случае, $ar - br'$ будет равно $bm + \mu r$ и $a\rho - b\rho' = bn + \mu\rho$, а сила, с которой тела A и B взаимно притягиваются, равна $\frac{+fb(m-n) + f\mu(r-\rho) + \nu bm + \nu mr}{Qr}$, в этой формуле три последних члена положительны. Итак, и в этом случае невозможно, чтобы вся формула при каких бы то ни было условиях была отрицательной, за исключением того случая, если $fb(m-n)$ или $m-n$ может быть отрицательным; если же возможно, чтобы $m-n$ стало отрицательным, то возможны будут и такие случаи, когда сила притяжения тел отрицательна и становится силой отталкивания. Итак, вопрос сводится к тому, чтобы определить, может ли n стать больше m, т. е. возможны ли случаи, когда $r - r' > \rho - \rho'$, но на этот вопрос нельзя ответить удовлетворительно раньше, чем будет известно функциональное выражение, согласно которому происходит электрическое отталкивание.

139. Итак, хотя здесь приходится, оставив теорию, обратиться к помощи опыта, мы присоединим сюда еще несколько соображений, проливающих некоторый свет на это дело. Мы с полным правом можем принять, что функциональное выражение, согласно которому частицы электрической жидкости отталкивают друг друга, таково, что значение функции с увеличением расстояния непрерывно все более и более уменьшается, ибо это не только соответствует аналогии в явлениях природы, но и вполне согласно с данными опыта.

В самом деле, опыт показывает, что в природе вещей действительно имеет место все то, что является выводом из этой предпосылки. Отсюда можно сделать непосредственный вывод: пусть кривая AB (фиг. XXIV) есть шкала[39] электрических отталкиваний, т. е. отличается тем свойством, что если принять абсциссы CD за расстояния, то соответ-

ствующие ординаты DE пропорциональны силам отталкивания; тогда получающаяся кривая будет асимптотической. Действительно, ни в каком другом случае не может получиться так, что отталкивание с возрастанием расстояния, непрерывно уменьшается, но всегда будет некоторая точка, начиная с которой, несмотря на увеличение расстояния, отталкивание тем не менее не уменьшается. Эта асимптотическая кривая может быть двоякого рода: либо она все время обращена своей выпуклостью к асимптоте CR, либо

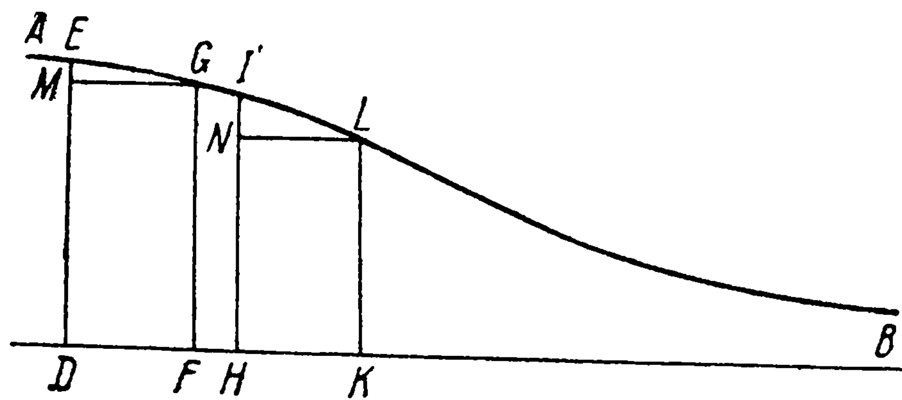


Фиг. XXIV.

она в той или иной точке имеет перегиб и то вогнута, то выпукла в сторону асимптот.

140. Если мы примем, что имеет место первое из этих предположений, то обозначим абсциссу буквой x, ординату буквой y, и возьмем dx за постоянную величину; dy, соответствующие этому dx, пусть с увеличением x непрерывно уменьшаются, так что всякий dy, соответствующий меньшему x, будет больше, чем dy, соответствующий большему x; однако он никогда не становится равным нулю прежде, чем x не станет равен бесконечности. Правильность этого утверждения известна нам из геометрии, из которой ясно, что если кривая AB не имеет перегиба, то ddy никогда не станут равными нулю. Следовательно, в этом случае ddy будут или всегда положительными, или всегда отрицательными и никогда не перейдут от положительных значений к отрицательным или наоборот, вследствие чего

в такого рода кривой dy или все время возрастают, или все время уменьшаются. В данном случае имеет место последнее. Так как эта кривая асимптотическая, то в конце концов получится, что отношение dy к $x=\infty$ будет равно нулю, вследствие чего dy должно по необходимости непрерывно уменьшаться. Итак, если взять на такой кривой две пары ординат, DE с FG и HI с KL, так, чтобы расстояния DF и HK были равны между собой, то и $DE-FG=EM$ будет больше, чем $HI-KL=IN$. Действительно, так как линии DF и HK равны между собой, то представим себе, что обе они разделены на равное количество бесконечно малых равных частей Da, ab, bc и т. д. и Hm, mn, np и т. д.; если провести ординаты ad, be, cf и т. д. и mq, nr, ps и т. д., то получим, что $EM=Eg+$ $+dh+ei$ и т. д., а $IN=$ $=It+qv+rx$ и т. д. Итак, поскольку $Eg>It$, $dh>$ $>qv$, $ei>rx$ и т. д., то и $Eg+dh+ei$ и т. д., равное EM, будет больше, чем $It+qv+rx$ и т. д., равное IN.



Фиг. XXV.

141. Если же представить себе, что шкала отталкиваний AB (фиг. XXV) имеет точку перегиба, то ddy, соответствующий точке L, будет равен нулю, и dy станут из возрастающих уменьшающимися или наоборот, причем из этих двух случаев здесь имеет место первый, так как отношение dy к $x=\infty$ должно равняться нулю. Итак, поскольку dy становятся из возрастающих уменьшающимися, в самой точке перегиба dy будет maximum. Значит, те dy, которые непосредственно предшествуют этому максимальному dy, меньше его; поэтому если взять две пары ординат, одинаково, отстоящих друг от друга, из которых одна HI, KL смежна с перегибом, а другая DE, FG несколько отстоит от него в сторону начала кривой, то, как легко понять на основании

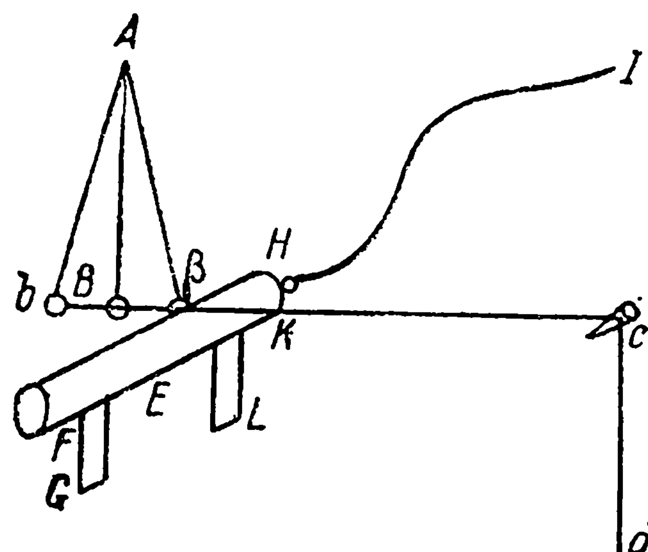
рассуждений предыдущего параграфа, теперь возможен такой случай, когда $ED - FG = EM$ меньше, чем $HI - KL = IN$.

142. Так как буквы r, r', ρ, ρ' обозначают четыре силы отталкивания, взятые так, что разница расстояний, соответствующих r' и r, равна разнице между расстояниями, относящимися к ρ' и ρ (§ 43), то эти количества могут быть выражены четырьмя ординатами шкалы отталкиваний DE, FG, HI, KL, взятыми так, чтобы DE равнялось FG. Итак, если кривая AB такова, что не имеет никакой точки перегиба, то постоянно будет $r - r' > \rho - \rho'$, а следовательно, в этом случае сила притяжения тел A и B никогда не может стать отрицательной, т. е. силой отталкивания (§§ 140 и 138). Если же кривая AB имеет какую-либо точку перегиба, то $r - r'$ может быть $> \rho - \rho'$, и поэтому может произойти, что тела A и B отталкивают друг друга (§ 141).

138.[40] Следовательно, весь вопрос, которым мы здесь занимаемся, сводится к тому, чтобы определить, имеет ли шкала электрических отталкиваний перегиб или нет. Итак, надо предоставить решение этого вопроса опыту. Если мы обратимся к его помощи, то вряд ли у нас останется какое-нибудь сомнение в том, что неоднократно упомянутая выше шкала отталкиваний должна быть такой, что в ней отсутствует какая бы то ни была точка перегиба. В самом деле, несмотря на бесчисленные опыты, ни мне, ни другим, поскольку я знаю, не привелось наблюдать отталкивание друг от друга тел, обладающих разнородными электричествами. Поэтому с высокой степенью вероятности мы можем считать, что хотя до сих пор и не известно, какова в точности формула функциональной зависимости, согласно которой происходят электрические импульсы, однако природа ее такова, что шкала отталкиваний не имеет ни одного перегиба.

143. Со всем тем, что я сказал до сих пор, находится в полном согласии опыт; я считаю уместным указать на это в немногих словах. Общеизвестно, что два тела, из которых одно положительно-электрическое, а другое отрицательно-

электрическое, всегда притягивают друг друга; в этом легко убедиться на опыте, если, подвесив на шелковой нити шарик или какое-либо другое очень легкое тело, передать ему электричество при помощи цилиндра из серы, а затем приблизить к нему наэлектризованную стеклянную трубку или какое-нибудь другое тело, получившее электричество от стеклянной трубки; или же, наоборот, к шарику, получившему электричество при помощи стеклянной трубки, приблизить цилиндр из серы. В самом деле, в этих случаях, мы будем наблюдать, что подвес всегда притягивается, но если мы даже тысячу раз повторим этот опыт, изменяя условия самыми различными способами, ни в одном случае подвес не будет отталкиваться. Однако, что происходит, если тела обладают одноименным электричеством, в достаточной мере не известно. Поэтому относящиеся сюда опыты заслуживают более подробного изложения.



Фиг. XXVI.

144. Итак, на шелковой нити *AB* (фиг. XXVI) подвесим маленький пробковый шарик *B*, имеющий приблизительно величину горошины. Под подвесом *AB* установим металлический цилиндр *E*, имеющий в диаметре приблизительно 1 дюйм и лежащий на стеклянных подпорках *FG* и *KL*. Эти подпорки должны быть так приспособлены к маятнику *AB*, чтобы при вертикальном положении подвеса шарик *B* почти прикасался к цилиндру *E*. Далее, к шарику *B* привяжем шелковую нить *bcd*, так чтобы она прошла через крючок *c*; к цилиндру *E* пусть будет присоединена железная проволока *HI*, длиной в 5—6 футов, подпертая, как надлежит, телами, электрическими по своей природе; через эту проволоку может быть проведено к цилиндру электричество. Наэлектризуем теперь шарик *B* обычным способом с

помощью стеклянной трубки, а затем подведем натертую стеклянную трубку к концу железной проволоки *I* и наэлектризуем также цилиндр *E*. Тогда мы заметим, что шарик *B* отталкивается и что подвес поднимается и занимает положение *Ab*. Если затем потянуть за нить *bcd*, то шарик *B* будет насильственно приближен к цилиндру *E*; после того как он приблизится на расстояние в 2, 3 или 4 линии, мы заметим, что отталкивание внезапно сменяется притяжением и подвес приходит в вертикальное положение *AB*; если же его слегка вывести из этого положения, притянув нить на пол-линии или 1 линию, то он сам по себе снова возвращается в прежнее положение. Этот опыт даст такой же результат, если стеклянный цилиндр будет заменен серным.

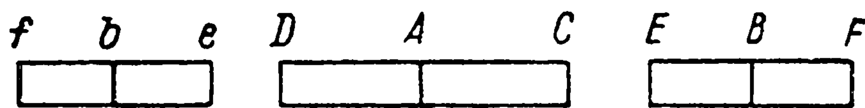
145. Теперь привяжем подвес *AB* с помощью нити *bcd*, несколько раз обернутой вокруг крючка *c* так, чтобы он не мог отходить от цилиндра *E* далее, чем приблизительно на 2 линии. Затем наэлектризуем снова шарик *B* и цилиндр *E* способом, описанным в предыдущем параграфе, при помощи стеклянной трубки, но первоначально наэлектризуем и тот и другой лишь слабо; подвес поднимается в положение *Ab* и отойдет от цилиндра *E* на такое расстояние, на какое позволяет нить *bcd*. Затем сильно наэлектризуем цилиндр *E*, и тогда отталкивание внезапно превратится в притяжение и подвес перейдет в вертикальное положение *AB*, в которое он будет сам по себе возвращаться (§ 144), если его слегка вывести из этого положения. И в этом опыте с таким же успехом можно применить серный цилиндр вместо стеклянного.

146. Хотя эти опыты прекрасно подтверждают то, что было сказано в §§ 130 и 135, следует, однако, рассеять сомнение, которое может появиться у тех, кто надлежащим образом взвешивает все обстоятельства. Хорошо известно, что воздух является лишь несовершенно электрическим, и поэтому он постоянно уменьшает количество электричества в шарике, который окружает. Поэтому может показаться,

что внезапный переход отталкивания в притяжение в опытах, рассмотренных в §§ 144 и 145, следует приписать причине, отличной от той, которую я привел выше. А именно, возможно, что воздух уменьшает количество электричества в шарике *B* в такой степени, что оно либо целиком, либо в значительной части уничтожается; если это произойдет, то шарик *B*, как если бы он не был наэлектризован, должен будет притягиваться цилиндром *E*. Вообще говоря, это может случиться; но без труда можно доказать, что в наших опытах этого фактически не происходит. Будем в опыте, описанном в § 144, после того как подвес придет в вертикальное положение, оттягивать нить *bcd* до тех пор, пока подвес *AB* не придет в положение *A*β; мы заметим, что теперь он будет снова отталкиваться от цилиндра *E*. Во втором же опыте (§ 145), после того как подвес таким же образом придет в вертикальное положение, лишим цилиндр *E* всего его электричества; если затем наэлектризовать его снова, но слабо, он будет снова отталкивать подвес. Ни то, ни другое не могло бы иметь места, если бы воздух, окружающий шарик *B*, отнял у него все электричество; если бы это было так, то в обоих случаях отталкивание не имело бы места, но подвес всегда бы притягивался. Я обращаю внимание на необходимость проводить эти опыты чрезвычайно тщательно — иначе они могут легко оказаться совершенно безуспешными. Поэтому нужно проявить осторожность в отношении всех условий опыта; особенно же важно, чтобы он проводился только в сухом воздухе.

147. У авторов, говорящих об электричестве, можно встретить правила, согласно которым тела, обладающие разноименным электричеством, притягивают друг друга, а тела, обладающие одноименным электричеством, отталкивают друг друга. Что касается первого правила, то из § 143 ясно, что его можно принять; второе же правило, в том виде как оно обычно формулируется, следует считать совершенно ложным. В самом деле, мы доказали (§§ 130, 135, 144

и 145), что, когда оба тела обладают одноименным электричеством, они то отталкивают друг друга, как это сформулировано в приведенном правиле, то вовсе не действуют друг на друга, то, наоборот, притягивают одно другое. Если же обратить это правило, то мы можем считать его в общем виде правильным; при этом мы должны понимать его в следующем смысле: если два тела отталкивают друг друга, то количество жидкости либо в обоих телах больше естественного, либо в обоих телах меньше естественного. В самом деле, тела могут отталкивать друг друга только в этом случае; в этом легко убедиться, исходя из того, что, как я с достаточной убедительностью показал выше, во всех прочих случаях они всегда притягивают друг друга и никогда не отталкивают.



Фиг. XXVII.

148. Действие магнита как на железо, не наделенное магнетизмом, так и на другой магнит всецело подчиняется тем же законам, которые имеют место при электрическом притяжении и отталкивании. Без труда можно убедиться в том, что почти все те рассуждения, которые я применял, говоря об электричестве, в равной мере имеют силу и для магнетизма, причем лишь немногое надо изменить; так как это обстоятельство проливает яркий свет на сходство причин, вызывающих магнитные явления, с одной стороны, и электрические, с другой, то я считаю заслуживающим внимания делом тщательно исследовать теорию магнитных притяжений и отталкиваний и дать основательное подтверждение ее при помощи опытов. Представим себе магнит A (фиг. XXVII), часть которого AC наполнена магнитной жидкостью, а другая часть AD опорожнена от этой жидкости; пусть количество жидкости, перегнанной из AD в AC, равно α. В таком случае магнит будет своею частью AC отталкивать, а частью AD притягивать магнитную жидкость, находящуюся вне его, с силой, которая и в том и в другом

случае равна $\frac{\alpha(r-r')}{Q}$ (§ 94). Сперва приблизим к части AC какое-либо железное тело B, находящееся в естественном состоянии или еще не наделенное магнитной силой. Если это тело будет продолжать оставаться в естественном состоянии, то очевидно из §§ 41 и 42, что действие магнита на него будет равно нулю, и поэтому, пока будет продолжаться такое положение вещей, оно не может подвергаться ни притяжению, ни отталкиванию. Но так как магнитная жидкость, находящаяся в B, отталкивается магнитом с силой, равной $\frac{\alpha(r-r')}{Q}$, некоторая ее часть должна перейти из BE в BF, вследствие чего это железо B будет в части BE отрицательно-магнитным, а в части BF — положительно-магнитным. Следовательно, если при определении действия магнита на железо B мы примем естественное количество жидкости, приходящейся на часть BE или BF, равным q, а количество жидкости, переходящей из BE в BF, равным β, и если в общую формулу § 43 подставим $a=\alpha$, $b=-\alpha$, $c=0$, $e=-\beta$, $f=\beta$, $g=0$, то искомое действие будет равно $\frac{\alpha\beta(r-r')-\alpha\beta(\rho-\rho')}{Qq}$.

149. Это количество будет всегда положительным и никогда не сможет стать отрицательным, за исключением того случая, когда $\rho-\rho'>r-r'$. Итак, на основании одной лишь теории не может быть решен вопрос, что должно произойти в этом случае, но так же, как и выше, где речь шла об электричестве (§§ 139 и сл.), придется прибегнуть к помощи опыта. Для этого случая сохраняет силу все, что было сказано в §§ 139—142; все сказанное может быть непосредственно перенесено на данный случай. Но так как опыт учит нас, что магнит постоянно притягивает намагниченное железо, и так как с тех времен, когда физики начали испытывать природу при помощи опытов над магнитом, не было обнаружено ни одного примера магнита, который отталкивал бы железо, то мы можем утверждать с большой вероятностью,

что шкала магнитных отталкиваний, как и шкала электрических отталкиваний, представляет собою кривую, не имеющую точки перегиба.

150. Итак сила, с которой магнит притягивает железо, всегда положительна; она возрастает с возрастанием β и точно так же уменьшается с уменьшением его. Но, так как величина этого β зависит от величины силы отталкивания $\frac{\alpha(r-r')}{Q}$ (§ 148), то притяжение железа должно быть тем больше, чем больше эта сила. Но она возрастает в том случае,

1) если уменьшится расстояние. Действительно, с уменьшением расстояния должно увеличиться количество $r-r'$; это очевидно из того, что шкала магнитных отталкиваний не имеет перегиба (§§ 149, 140);

2) если r значительно превзойдет количество r'. Эта разница при прочих равных условиях тем больше, чем длиннее магнит A. В самом деле, в этом случае часть AD гораздо больше отстоит от тела B, чем часть AC, вследствие чего r' должно быть по необходимости много меньше, чем r;

3) если α возрастает. Отсюда следует, что при прочих равных условиях магнит должен притягивать смежное с ним железо с тем большей силой, чем бо́льшим количеством магнетизма он наделен. Сюда еще надо прибавить и четвертую причину. Действительно,

4) величина указанного β зависит от большей или меньшей легкости, с которой магнитная жидкость движется в порах магнита. Если сопротивление, которое она встретит, окажется бесконечно большим, то β будет равно нулю и тело B сохранит естественное состояние, а притягиваться не будет. В остальных случаях β будет всегда тем больше, чем легче движется магнитная жидкость в порах тела B, и β будет тем меньше, чем затруднительнее это продвижение, вследствие чего и взаимное притяжение между железом и магнитом будет в первом случае бо́льшим, во втором — меньшим.

151. Эти замечания подготовляют путь для объяснения некоторых весьма замечательных опытов с магнитом. Прежде всего очевидно, что притяжение железа становится всегда бо́льшим, чем оно более приближается к магниту; поэтому с уменьшением расстояния притяжение должно возрастать согласно некоторой определенной функциональной зависимости. Я не определяю, какова эта функция, ибо основных положений нашей теории для этого еще недостаточно. Над нахождением этой функциональной зависимости a posteriori и из опыта тщательно трудились Мушенбрёк и многие другие, но им, тем не менее, не удалось достигнуть желаемого результата. Хотя я считаю это дело достаточно трудным, однако я не совсем потерял надежду, что в том случае, если опыты будут поставлены надлежащим образом с помощью искусственных магнитов и если на помощь будут призваны изложенные здесь отделы теории, этот закон будет, наконец, выведен. Однако лично мне мои другие занятия не дали пока возможности заняться этим исследованием.[41]

152. Из пункта 2 § 150 ясно, что при прочих равных условиях, магнит будет всегда тем более слабым, чем он короче, и тем более сильным, чем он длиннее. Это прекрасно согласуется с наблюдением физиков, которые единогласно утверждают, что если от магнита будет отделена некоторая часть и вследствие этого его ось станет короче, то он от этого потерпит гораздо более чувствительный ущерб, чем если отделить какую-либо часть вдоль его краев. В этом я также вижу, по крайней мере, отчасти, причину того, что искусственные магниты по большей части обладают силой, столь значительно превосходящей силу, которой наделены естественные магниты, не снабженные ярмом. Действительно, для искусственных магнитов выбирают обыкновенно весьма длинные стальные прутья; наоборот, естественные магниты обычно бывают довольно короткими. В этом мнении меня в значительной мере утверждают некоторые опыты, которые я сейчас изложу; однако же я должен

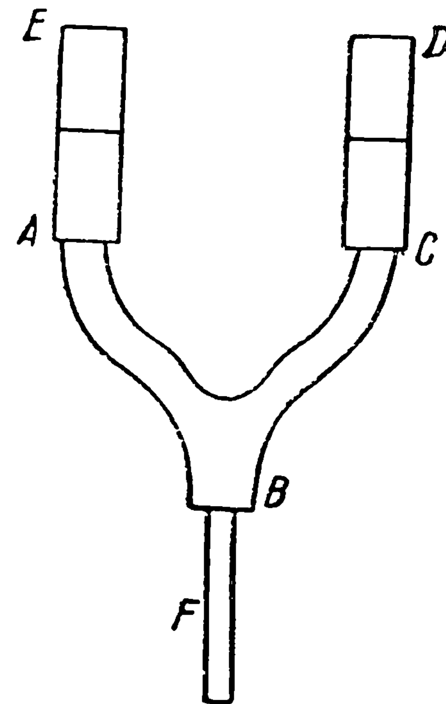
признаться, что в этом случае влияют и другие причины; ниже представится более подходящий случай говорить о них.

153. Наконец, из пункта 4 § 150 следует, что мягкое железо сильнее притягивается магнитом, чем твердая сталь. Это до того очевидно, что уже давно стало известно опытным путем; поэтому железные ярма для магнитов (по-французски они называются supports; к ним привешиваются грузы, которые должен поднимать магнит) обычно делаются из самого мягкого железа.

154. Все сказанное может быть применено к случаю, когда часть магнита, обладающая отрицательным магнетизмом, будет обращена к железу. В самом деле, поскольку магнит A (фиг. XXVII) в этом случае притягивает жидкость, содержащуюся в железе b с силой, равной $\frac{\alpha(r-r')}{Q}$ (§ 94), на эту жидкость действует сила, вынуждающая ее переходить из bf в be; поэтому железо b становится магнитным, часть be становится положительно-магнитной, а часть bf отрицательно-магнитной. Следовательно, если количество жидкости, переходящей из bf в be, назвать β, то из формулы § 43, подставляя $a=-\alpha$, $b=\alpha$, $c=0$, $e=+\beta$, $f=-\beta$, $q=0$, мы найдем силу, с которой магнит A действует на железо b; она будет равна $\frac{\alpha\beta(r-r')-\alpha\beta(\rho-\rho')}{Qq}$. Но, поскольку эта формула совершенно совпадает с найденной выше (§ 148), все то, что было сказано в § 149, в равной мере имеет силу и для этого случая. В такой же мере и все прочее, изложенное в §§ 150—153, имеет силу и для этого случая и может быть без труда на него перенесено.

155. Покончив с тем, что устанавливает теория относительно действия магнита на железо, нам остается еще подтвердить опытами правильность наших рассуждений. То, что магнит может поднимать каждым своим полюсом любое железо, не наделенное магнитной силой, и что он с большей силой поднимает мягкое железо, чем твердое, общеизвестно, и каждый может лично убедиться в этом с помощью опыта.

Итак, для нас прежде всего существенно доказать посредством опытов то, что железо, поднесенное к магниту, выходит из естественного состояния и само становится магнитом. Это можно сделать чрезвычайно легко. Действительно, если к какому-либо полюсу магнита поднести железо B или b (фиг. XXVII), то, независимо от того, коснется ли оно вплотную этого полюса или будет отстоять от него на небольшое расстояние, оно окажется магнитным и будет поднимать другой железный груз значительной величины. Более того, если удалить это тело от магнита, то в этом теле останется какое-то количество магнетизма при том условии, что оно будет состоять не из самого мягкого железа, но будет иметь некоторую твердость. Почему в первом случае, в ближайшем соседстве с магнитом, тело B или b становится магнитным, а будучи отдалено от магнита, совершенно теряет всякий магнетизм,— с достаточной обстоятельностью изложено выше, в § 87.

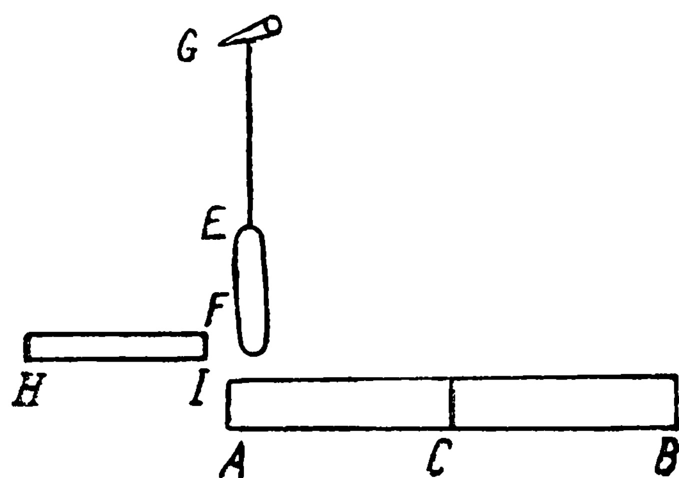


Фиг. XXVIII.

156. Хотя этого одного опыта с избытком хватает для того, чтобы доказать согласие нашей теории с опытом, я присоединю сюда еще описание некоторых других явлений, зависящих от изложенного выше. Эти явления представляются и сами по себе достаточно замечательными, и к тому же они прекрасно доказывают правильность изложенных здесь основных положений. Итак, пусть будет изготовлен железный предмет ABC с двумя разветвлениями, который изображен на фиг. XXVIII. Поднесем ветвь A этого предмета к одному из полюсов магнита AE; тогда ABC станет магнитным, и он своим концом B будет поднимать железный груз F. Затем возьмем другой магнит CD и приложим его к другому концу C так, чтобы C был полюсом, противоположным полюсу A. Как только это произойдет,

сразу же будет совершенно уничтожен магнетизм в конце *B*; теперь предмет *ABC* не сможет уже больше поднимать этим концом не только груз *F*, но и какой-либо другой, гораздо более легкий.

157. Если мы примем в этом опыте, что полюс *A* положителен, то он, будучи присоединен к ветви *A* и производя обычное отталкивание, заставит магнитную жидкость оставить конец *A* и удалиться к *B*; если же мы только поднесем к ветви *C* отрицательный полюс магнита *CD*, то он, притягивая магнитную материю, заставит ее, перейдя к *C*, оставить порожней часть *B*. Итак, поскольку магниты *AE* и *CD* стремятся произвести действия, прямо противоположные друг другу, они, если силы их равны и если их одновременно поднести к ветвям *A* и *B*, не произведут никакого действия, и конец *B* железа *ABC* останется в естественном состоянии. Если же только один из магнитов будет соединен с одним из концов железного предмета, то он произведет свое действие и сделает конец *B* или положительно- или отрицательно-магнитным.



Фиг. XXIX.

158. Подвесим на льняной нити *GE* (фиг. XXIX) кусок весьма тонкой и мягкой железной проволоки *EF* длиною в несколько дюймов; снизу к нему поднесем на расстояние в 1 или $1^1/_2$ дюйма один из полюсов *AC* магнита *A*. Другой железный, не магнитный предмет *HI* приблизим сбоку к проволоке *E*, и тогда мы заметим, что

1) если тело *HI* будет поднесено к нижнему концу *F* проволоки *EF*, то он отталкивается от тела *HI*. Если же

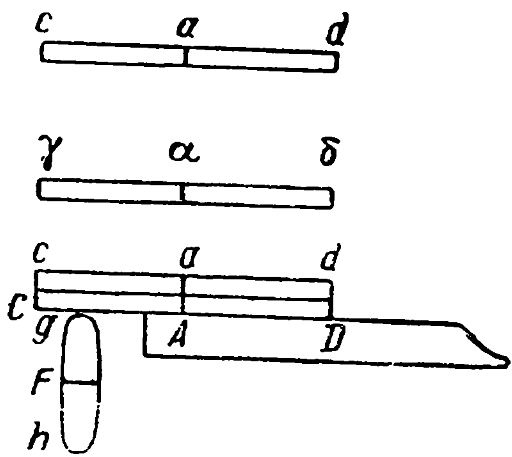
2) поднять железо *HI* выше, так чтобы оно теперь находилось против верхнего конца *E* проволоки, то он будет притягиваться телом *HI*.

В этом опыте нижний конец F проволоки, более близкий к магниту, согласно основам теории, получает магнетизм, противоположный тому, которым обладает полюс магнита AC, а верхний ее конец E приобретает такой же магнетизм, что и полюс AC. Это очевидно из §§ 148 и 154. Это верно и для тела HI, конец которого I, более близкий к магниту, по тем же причинам приобретает магнетизм, противоположный тому, который имеет полюс AC. Теперь без труда можно уяснить причину явлений, наблюдающихся в описанном опыте. В самом деле, я сейчас покажу (что́, впрочем, в достаточной мере известно и без этого), что тела, обращенные друг к другу концами, наделенными разноименным магнетизмом, всегда притягивают друг друга и что обычно они отталкивают друг друга, если концы, которыми они обращены друг к другу, имеют один и тот же магнетизм. Если принять за основу эти законы, то в опыте не останется ничего такого, причина чего не была бы очевидной.

159. Хотя из сказанного с достаточной ясностью следует, что наша теория учит вещам, вполне согласным с опытом, однако мне представляется стоящим труда делом — совершенно рассеять сомнение, которое может зародиться у читателей вследствие сделанного мною выше утверждения, что магнит не действует на железо, поскольку и пока оно находится в естественном состоянии. Я могу самым убедительным способом вывести читателя из этого сомнения, доказав при помощи опытов, что в том случае, если мы любым способом помешаем возникновению магнетизма в железном теле, магнит не будет производить действия на это тело. Это вытекает с полной очевидностью уже из того, что, как свидетельствует опыт, чем слабее магнетизм, полученный в теле, которое приблизили к магниту, тем всегда слабее и сила, с которой это тело притягивается. Ведь очень хорошо известно, что при прочих равных условиях твердая сталь и получает меньшую степень магнетизма и притягивается с меньшей силой, чем мягкое железо, из чего справедливо

заключают, что если бы железо могло быть сделано столь твердым, чтобы в нем вовсе не мог возникать магнетизм, то и притяжение было бы равно нулю. Еще очевиднее станет правильность моих слов из следующего.

160. Изготовим два магнита A и a (фиг. XXX), совершенно равных и сходных между собой, обладающих, поскольку это возможно, равными силами и весьма тонких. Я сам применял для этого опыта искусственные магниты, т. е. две тонкие стальные пластинки, наделенные магнитной силой. Положим один из этих магнитов, A, на деревянную доску, так чтобы он одним из своих концов AC немного выдавался за доску, и подвесим к этому концу железный груз F, достаточно легкий и значительно более малый, чем тот, который в силах поднять магнит, как, напр., тонкую железную проволоку gFh, длиной в 5 или 6 дюймов. Затем положим на первый магнит A магнит a в обратном положении, т. е. так, чтобы полюсы, обладающие противоположными силами, были обращены друг к другу и соприкасались между собой. После того, как это сделано, нам покажется, что вся сила полюса AC как бы исчезла, так что он не сможет поднять не только груз F, но и всякий другой груз, как бы он ни был мал, пока магнит a не будет снова убран.



Фиг. XXX.

161. Результат этого опыта должен казаться каждому, кто отказывается признать правильность моих утверждений, противоречивым и в высшей степени парадоксальным. В самом деле, поскольку магнит A и магнит a оба притягивают железо F и в состоянии его поднять, самые элементарные начала логики вынуждают нас притти к выводу, что эти силы, будучи соединены вместе, как это имеет место в нашем опыте, должны производить еще большее действие. Однако при помощи предложенной мною теории все трудности, кото-

рые могут возникнуть в связи с этим опытом, без труда могут быть устранены. В самом деле, если, напр., полюс AC магнита A положительный, то он стремится перегнать магнитную материю из части gF в часть Fh; наоборот, отрицательный полюс ac магнита a стремится к накоплению магнитной жидкости в части gF и к ее удалению из Fh. Но, поскольку эти противоположные силы равны друг другу (мы предположили, что оба магнита имеют равные силы и достаточно тонки для того, чтобы действие каждого из них на железо было почти одинаковым), они не могут произвести никакого действия; поэтому тело F остается в естественном состоянии и сообразно теории не притягивается. В случае, когда AC — отрицательный полюс, а ac — положительный, должно, как это нетрудно понять, произойти то же самое.

162. Не будем еще расставаться с этим опытом, в высшей степени достойным нашего внимания, но остановимся еще раз на отмеченных нами явлениях и постараемся отчетливо уяснить их причины. Итак, представим себе, что опыт поставлен описанным выше (§ 160) образом, но что магнит a не положен на магнит A, но удерживается на некотором расстоянии от него в параллельном положении. Предположим далее, что избыток количества магнитной жидкости в AC равен α и что из ac удалено количество жидкости, равное β. Если провести расчет способом, сходным с тем, который был применен в § 15, то ясно, что один только магнит A, или, вернее, одна только его часть AC (ибо нет необходимости считаться с действием второй его части AD) будет отталкивать магнитную жидкость, содержащуюся в F, с силой, равной $\frac{\alpha r}{Q}$, а часть ac второго магнита будет ее притягивать с силой, равной $\frac{\beta r'}{Q}$; значит, вся сила, с которой жидкость перегоняется из gF в Fh, когда магниты удерживаются в параллельном друг другу положении, будет равна $\frac{\alpha r - \beta r'}{Q}$. Из этой формулы сразу же и непосредственно

следует, что, прежде всего, сила $\frac{\alpha r - \beta r'}{Q}$, с которой действуют магниты, соединенные описанным образом, меньше, чем $\frac{\alpha r}{Q}$, т. е., чем та сила, с которой может действовать магнит A, когда он действует отдельно; из нее следует также, что если мы будем приближать магниты друг к другу, то, вследствие постоянного возрастания r', сила отталкивания $\frac{\alpha r - \beta r'}{Q}$ будет уменьшаться, более того, если магниты обладают равными силами (в этом случае $\alpha = \beta$), то сила отталкивания станет равной нулю, когда магниты окажутся непосредственно наложенными друг на друга, ибо тогда отношение между r' и r будет чрезвычайно близко к равенству $r' = r$. Отсюда вытекает, что не только магнит может поднять меньший груз, чем в других случаях, если мы приблизим к нему другой магнит описанным способом, но также, что он всегда сможет поднимать тем меньший груз, чем ближе мы придвинем к нему другой магнит; более того, при описанных выше условиях, если он совершенно соединен с другим магнитом, он не обнаружит уже никаких признаков притяжения, как это и наблюдается в опыте, описанном в § 160.

163. В том, что этот вывод вполне согласуется с данными опыта, может без труда убедиться всякий, кто захочет поставить такие опыты. Этим в высшей степени убедительно подтверждается и то, что я выше (§ 152) утверждал, — именно, что любой магнит при прочих равных условиях будет тем слабее, чем короче его ось, т. е. чем меньше расстояние между его полюсами. Представим себе теперь, что α меньше β; в этом случае магнит A будет слабее магнита a. Пусть $\alpha = \beta - \mu$; сила, с которой магниты A и a, удерживаемые в параллельном положении, отталкивают магнитную жидкость в F, будет в таком случае равна $\frac{\beta(r - r') - \mu r}{Q}$. Значит, если будет $r - r' = 0$ (а это равенство, по крайней мере приближенно, будет иметь место, когда магниты прикоснутся

друг к другу), то сила, с которой отталкивается жидкость, находящаяся в F, будет равна $-\frac{\mu r}{Q}$, а значит, она будет в этом случае отрицательной и силой притяжения; если же магнит будет отстоять на очень большое расстояние от другого магнита A, то вследствие того, что r' становится почти равным нулю, сила, с которой отталкивается жидкость в F, будет равна $\frac{(\beta-\mu)r}{Q}$, а это количество, вследствие того, что $\beta-\mu=\alpha$, а значит положительно, также всегда положительно. Сила, отталкивающая жидкость в F, в течение того времени, когда магнит a приближается к магниту A, переходя от значительного расстояния к соприкосновению, сначала бывает положительной, а в конце концов становится отрицательной; следовательно, существует некоторе определенное расстояние магнитов друг от друга, когда эта сила совсем исчезает, становясь равной нулю.

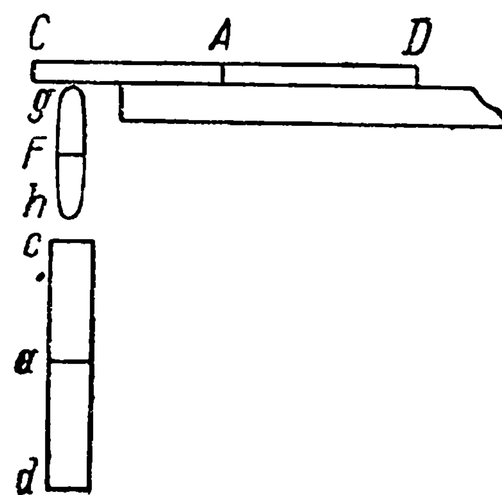
164. Исходя из этих соображений, следует искать и объяснения следующих явлений. Возьмем два магнита, подобных и равных друг другу,[42] таких, какие я описал в § 160, и пусть магнит a много сильнее магнита A. Привесим ко второму из них железную проволоку F (фиг. XXX) и после этого будем придвигать к магниту A второй магнит a с большего расстояния все ближе и ближе, делая это, однако, медленно. После того как магниты приблизятся друг к другу на расстояние нескольких дюймов, внезапно притяжение прекратится и проволока F, более не удерживаемая магнитом A, сама по себе упадет; если после этого магнит a, в том положении, в каком он был, когда это произошло, напр. в положении $\gamma\alpha\delta$, будет удержан неподвижным, то в A вряд ли можно будет заметить хоть какой-нибудь след остатка его магнитной силы. Теперь придвинем магнит a еще ближе; тогда магнит A постепенно снова приобретает силу притяжения, более того, если магниты будут вплотную прикасаться друг к другу, он снова сможет поднимать проволоку F.

11*

165. Из § 163 нетрудно видеть, почему так протекают эти явления. Действительно, если магнит a будет удержан в положении $\gamma\alpha\delta$, действие его на жидкость, содержащуюся в проволоке F, будет равно нулю; поэтому в данном случае проволока останется в естественном состоянии и не будет притягиваться. Если же магнит a будет отстоять на большее расстояние, то жидкость, находящаяся в F, будет отталкиваться; поэтому часть gF должна стать отрицательно-магнитной, а часть Fh положительно-магнитной, и проволока F будет притягиваться (§ 149). Если же, наоборот, мы придвинем магнит a ближе, чем $\gamma\alpha\delta$, то магнитная жидкость, находящаяся в F, будет притягиваться; поэтому теперь, наоборот, часть gF станет положительно-магнитной, а часть Fh отрицательно-магнитной, и проволока F, так же как и в предыдущем случае, будет притягиваться (§ 154). Далее, в силу нашей теории очевидно (я считаю подходящим добавить еще и это), что, пока магнит a отстоит от магнита A столь далеко, что находится далее границы исчезновения магнетизма $\gamma\alpha\delta$, то нижняя часть Fh проволоки F должна получать тот же магнетизм, что и полюс AC, а после того как магнит вплотную прикоснется к магниту A, в конце Fh получится обратный магнетизм — именно такой, которым обладает полюс ac. Данные опыта свидетельствуют, что дело обстоит так, если произвести исследование обычным путем, с помощью магнитной иглы, и посмотреть, каким магнетизмом обладает часть Fh.

166. Все то, что было изложено, начиная с § 160, остается верным и для того случая, когда полюсы магнитов поменяются местами, т. е. если вместо допущения, что AC — положительный полюс, а ac — отрицательный, мы теперь предположим, что полюс AC наделен отрицательным, а полюс ac положительным магнетизмом. Это настолько ясно, что у читателей не может возникнуть никаких затруднений, если мы предоставим им самим применить сказанное выше к этому случаю. Поэтому мы предпочитаем перейти к дру-

гим вопросам. Положим на доску, как в предшествующем случае, магнит *CAD* (фиг. XXXI) так, чтобы и теперь часть его была выдвинута за край доски. Будем исследовать, какова максимальная величина железного груза *F*, который может поднять магнит своим концом *C*. Под грузом *F*, привешенным к магниту *A*, будем держать на расстоянии целого дюйма или полудюйма другой магнит *a*, так чтобы полюс *ac* был противоположным полюсу *AC*, и окажется, что теперь магнит *A* может поднимать гораздо более значительный груз, чем в том случае, когда удаляют магнит *a*. Если же полюс *ac* будет одноименным с полюсом *A*, то получится такое впечатление, что магнит *A* как бы стал слабее и он уже не будет в состоянии поднимать такой груз, как раньше. Мы можем теперь без труда дать объяснение этих явлений. Пусть, напр., *AC* будет тем полюсом магнита *A*, в котором имеется избыток жидкости, а *ac* — тем, в котором недостаток ее. Значит, поскольку полюс *AC* отталкивает жидкость, содержащуюся в *F*, он стремится к созданию такого состояния, чтобы из части *Fg* железа жидкость была удалена, а часть *Fh* ею наполнилась. Далее, так как отрицательный полюс *ac* второго магнита *a* притягивает жидкость, находящуюся в *F*, и он стремится к достижению того же результата. Действительно, притягивая к себе магнитную материю, он приводит к тому, что часть *gF* становится отрицательно-магнитной, а часть *Fh* — положительно-магнитной.



Фиг. XXXI.

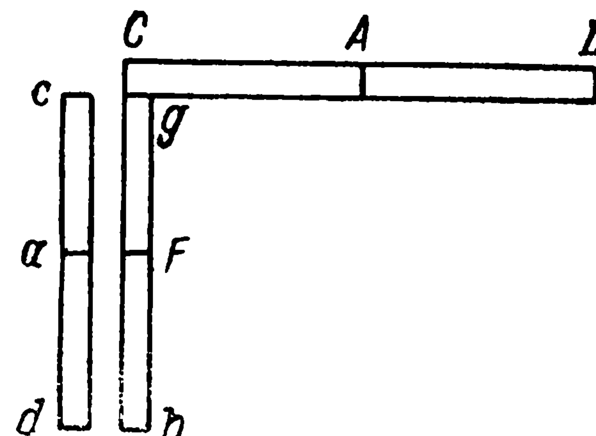
Итак, поскольку эти силы, исходящие от обоих магнитов, приводят к одному и тому же результату, они неизбежно приводят к большему результату, чем если бы действовал один только магнит *A*. Итак, часть *gF* теперь освободится от электричества в большей степени, а часть *Fh* наполнится им в большей степени, чем это произошло бы в иных слу-

чаях, поэтому в этом случае должно возникнуть и большее притяжение. Если же полюс *ac* одноименен с полюсом *AC*, как, напр., в нашем случае, то тот из магнитов, в котором жидкость находится в избытке, а именно магнит *A*, стремится к достижению того же результата, что и в первом случае; однако второй магнит проявляет противоположное устремление. Действительно, так как и он отталкивает жидкость, он стремится сделать часть *gF* положительно-магнитной, а часть *Fh* отрицательно-магнитной. Итак, в этом случае, по крайней мере отчасти, уничтожается действие магнита *A*, а поэтому и железо *F* становится в меньшей степени магнитным, а также в меньшей степени подвергается притяжению. Все эти соображения без труда могут быть применены ко второму случаю, когда *AC* является не положительным, а отрицательным полюсом магнита *A*.

167. Заменим в опыте магнит *a* железом с несколько большей массой, мягким и не обладающим никакой магнитной силой. Находясь в том самом положении, в которое прежде помещали магнит *a*, оно также, под влиянием магнита *A*, становится магнитным и притом так, что *ac* станет полюсом разноименным с полюсом *AC*, а *ad* — полюсом одноименным с ним (§§ 148 и 154). Значит, дело обстоит как раз так, как если бы в этом положении находился магнит, а поэтому должны возникнуть и те же самые явления. Итак, магнит *A*, если мы приблизим к нему описанным способом такого рода железный предмет, будет поднимать больший груз, чем если это железо будет удалено (§ 166). Это наблюдение сделал впервые знаменитейший де-Реомюр, который обнаружил, что магнит легко поднимает железный груз, который положен на железо, напр. на наковальню, но не будет в состоянии поднять этот же груз, если он будет положен на руку или на деревянную доску.[43]

168. К полюсу *AC* магнита *A* (фиг. XXXII) привесим железный предмет *F* и при помощи подвешиваемых грузов будем исследовать, с какой силой он притягивает этот пред-

мет. Будем держать около железного предмета F магнит a в положении, указанном на чертеже, но так, чтобы полюс ac был противоположным полюсу AC. Если затем произвести опыт, то можно обнаружить наблюдением, что магнит A теперь поднимает железо F со значительно меньшей силой. Если, напр., полюс AC будет положительным, то он, отталкивая магнитную материю, приводит тело F в такое состояние, что часть gF станет свободна от жидкости, а Fh наполнится ею. Так как помещенный вблизи от этого железа, сбоку от него, магнит a своею частью ac притягивает жидкость, то легко понять, что, по крайней мере отчасти, он уничтожит действие, произведенное магнитом A, и приведет к такому результату, что некоторая часть жидкости из Fh снова перейдет в gF; в этом легко убедится всякий, который хочет уделить хоть немного внимания этому делу. Итак, поскольку в этом случае магнит a препятствует тому, чтобы железо F стало магнитным в такой же степени, как в другом случае, магнит должен и поднимать железо с меньшей силой.

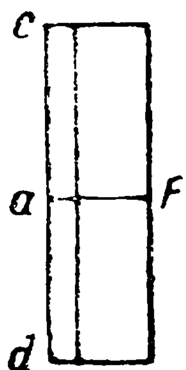


Фиг. XXXII.

169. То же явление имеет место, если вместо магнита a будет взят не магнитный железный предмет, подобный и равный тому же F. Действительно, этот предмет тотчас же превратится в магнит, полюс ac которого противоположен полюсу AC. Теперь соединим железные предметы a и F в одно тело; ясно, что часть gF все еще будет препятствовать тому, чтобы прилегающая к ней часть ac стала в такой степени, как если бы мы не соединяли a и F, а часть ac будет производить такое же действие на gF. Итак, отсюда ясно, что тело, имеющее двойную толщину, должно притягиваться не с точно двойной силой, но с силой, несколько меньшей. То же рассуждение легко применить и к другим случаям,

когда 3, 4, 5 или больше таких тел будут соединены в одно. Отсюда с очевидностью вытекает и следующий общий вывод: если толщина тела увеличивается в m раз, то вследствие этого притяжение не увеличивается в m раз, а остается несколько более слабым.

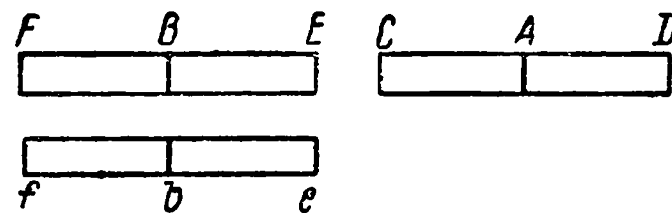
170. Итак, притяжение изменяется по некоторому определенному закону с увеличением толщины; но закон этот невозможно установить до тех пор, пока функциональная зависимость, согласно которой происходит отталкивание магнитной жидкости, не известна. Однако без труда можно заметить, что есть некоторая толщина, при которой притяжение будет максимальным. В самом деле, допустим, что тело F (фиг. XXXIII) притягивается с силой, равной A, и что ее толщина увеличивается на бесконечно узкую полоску cad, которая, если бы находилась отдельно, притягивалась бы с силой, равной a. Эта полоска, будучи соединена с телом F, уменьшит магнетизм тела F, а вместе с тем и силу, с которой оно притягивается, на бесконечно малое количество, которое пусть будет равно γ. Точно так же и тело F будет препятствовать тому, чтобы полоска a стала магнитной в такой же степени, как было бы, если бы тела F не было. Значит, после того как полоска a соединена с телом F, она уже не будет притягиваться с силой, равной a, но с меньшей. Поэтому допустим, что сила, с которой полоска a притягивается под действием тела F, уменьшается на количество ε; тогда вся сила, с которой притягивается тело F, после того как его толщина увеличилась на полоску a, будет равна $A + a - \gamma - \varepsilon$. Очевидно, a является постоянной величиной, если мы будем представлять себе полоски, увеличивающие толщину тела F, имеющими постоянную толщину; количество ε зависит от магнитной силы части gF и увеличивается с ее увеличением; количество же γ, которое зависит от постоянной силы a, также может считаться постоянным. Поэтому, если мы примем, что



Фиг. XXXIII.

магнитная сила части gF возрастает с увеличением толщины, то и ε будет вместе с ней непрерывно возрастать, а следовательно, в конце концов достигнет предела, когда $\varepsilon+\gamma$ станет равным a. Если же это будет иметь место, то $\alpha-\gamma-\varepsilon$, или приращение силы, с которой притягивается тело F, будет равно нулю, а следовательно, толщина, которую в этом случае будет иметь тело F, будет той, которая производит максимальное притяжение.

171. Мы принуждены удовольствоваться этими общими соображениями; какова в точности та толщина, которая соответствует максимальному притяжению, нельзя определить a priori и только на основании теории, пока не будет известна функциональная зависимость, согласно которой действует магнитная жидкость. Однако прекрасно известно, что в действительности имеет место то, чему нас учит теория. Как известно, некоторые из тех, которые создали учение о магнитных явлениях, уже наблюдали это явление и удивлялись ему.



Фиг. XXXIV.

172. После того как мы с достаточной обстоятельностью рассмотрели действие магнита на железо, не наделенное до этого магнитной силой, нам следует заняться выводом законов действия двух магнитов друг на друга. Итак, допустим сперва, что магниты так расположены один по отношению к другому, что положительный полюс AC первого магнита (фиг. XXXIV) обращен в сторону отрицательного полюса BE второго магнита. В этом случае магнит A отталкивает магнитную материю, содержащуюся в B, вследствие чего часть EB, которая опорожнена от жидкости, должна быть еще в большей степени опорожнена от нее, и точно так же действие магнита B, притягивающего жидкость, находящуюся в A, приводит к тому, что эта жидкость накопится в еще большей степени в AC. Обозначим естественное количество

мигнитной жидкости, приходящееся на части AC и AD магнита A, через Q, и пусть то количество, которое приходится на части BE и BF второго магнита B, будет равно q. Далее, избыток количества магнитной жидкости, бывший в AC, и недостаток магнитной жидкости, бывший в AD, до того как магниты были сближены друг с другом, назовем α, а недостаток, имеющийся в BE, и избыток, имеющийся в BF, назовем β. Наконец, количество жидкости, которое под действием магнита B было перегнано из AD в AC после того, как магниты были приведены в близость друг с другом, пусть будет равно η, а то количество жидкости, которое было перегнано из BE в BF под действием магнита A, пусть будет равно ϑ. Если теперь в общую формулу § 43 подставим $a=\alpha+\eta$, $b=\alpha-\eta$, $c=0$, $e=\beta-\vartheta$, $f=\beta+\vartheta$, $g=0$ или, что то же, если в формулу $\frac{+(ar-br')e-(a\rho-b\rho')f}{Qq}$ подставим $a=b=\alpha+\eta$ и $e=f=\beta+\vartheta$, то получится формула, выражающая силу, с которой магниты притягивают друг друга; следовательно, эта сила равна

$$\frac{(\alpha+\eta)(\beta+\vartheta)[(r-r')-(\rho-\rho')]}{Qq}.$$

173. Эта сила будет, само собой разумеется, всегда положительной, если только всегда $(r-r')>\rho-\rho'$. Но так как выше (§ 149) я дал доказательство того, что правильность этого неравенства во всех случаях вряд ли может подлежать сомнению, то отсюда следует, что магниты, противоположные полюсы которых обращены друг к другу, всегда притягивают друг друга. Но хотя это и правильно в общем виде, однако иногда приходится иметь дело с некоторыми явлениями, дающими неожиданный результат. Так, напр., на первый взгляд вряд ли кто-нибудь будет сомневаться в утверждении, что при прочих равных условиях не только верно положение, что чем сильней магнит B, с тем большей силой он притягивается, но и то, что если тело B вовсе лишено всякого магнетизма, то оно должно притягиваться с меньшей силой,

чем подобный и равный ему магнит. Хотя это может казаться само собою разумеющимся, тем не менее и я сам часто наблюдал противоположное этому, и то же, как мне удалось обнаружить, отмечено и другими; более того, если мы всмотримся в это дело пристальнее и внимательнее, то легко убедимся, что это не верно. Действительно, количество силы, с которой магниты притягивают друг друга, зависит преимущественно от большей или меньшей легкости, с которой магнитная жидкость движется в порах этих тел. Чтобы понять надлежащим образом, как может получиться, что иногда более слабый магнит притягивается с большей силой, чем более сильный, или что простое, не магнитное железо иногда притягивается с большей силой, чем довольно сильный магнит, предположим, что магнит B заменен другим b, равным и подобным ему, но в порах которого магнитная материя движется с гораздо большей легкостью. Если мы теперь примем, что прежде, чем этот магнит был сближен с магнитом A, недостаток магнитной жидкости в части его be и избыток ее в части bf был равен по количеству β', и если мы применим к этому случаю все те рассуждения, которыми мы пользовались в § 172, и при этом еще назовем количество жидкости, перешедшей из AD в AC, буквой η', а то количество, которое было перегнано из eb в bf, — через ϑ', то мы получим формулу, вполне схожую с найденной выше. А именно, сила, с которой магниты притягивают друг друга, равна

$$\frac{(\alpha+\eta')(\beta'+\vartheta')[(r-r')-(\rho-\rho')]}{Qq}.$$

174. Тот, кто пожелает уделить этому делу хоть немного внимания, без труда заметит, что величина количества η' зависит от величины количества $\beta'+\vartheta'$, так что чем больше это количество, тем бóльшим должно также быть η'. Действительно, из сказанного выше достаточно ясно, что сила магнита b, с которой он притягивает жидкость, содержащуюся в A, и заставляет ее перейти из части AD в часть

AC, возрастает с возрастанием $\beta'+\vartheta'$. Если же мы примем это без труда, то убедимся в том, что

1) если β' будет равно β, то вследствие нашего допущения, что жидкость, содержащаяся в магните b передвигается с большей легкостью, ϑ' будет $>\vartheta$; откуда мы получим, что $\beta'+$ $+\vartheta'>\beta+\vartheta$. Однако, как мы только что доказали, также и $\alpha+\eta'>\alpha+\eta$. Отсюда следует, что сила, с которой магнит A притягивает магнит b, равная $\frac{(\alpha+\eta')(\beta'+\vartheta')[(r-r')-(\rho-\rho')]}{Qq}$, больше, чем сила, с которой этот же магнит притягивает магнит B, которая, как было найдено выше, равна

$$\frac{(\alpha+\eta(\beta+\vartheta)[(r-r')-(\rho-\rho')]}{Qq}.$$

Далее,

2) если даже положить β' меньше β, то, тем не менее, по причине, только что приведенной, ϑ' будет $>\vartheta$. Поэтому возможен случай, когда $\beta'+\vartheta'>\beta+\vartheta$. Если дело будет обстоять так, то и $\alpha+\eta'$ будет $>\alpha+\eta$, а следовательно (это ясно по тем же причинам, что и в предыдущем пункте), магнит A неизбежно будет притягиваться с большей силой, чем магнит B. Если же, наконец,

3) мы примем, что β' точно равно нулю (а значит b не обладает вовсе магнетизмом), то, несмотря на это, ясно, что в том случае, когда b будет состоять из чрезвычайно мягкого железа, а B из более твердого (при этом ϑ' очень велико, а ϑ крайне мало), вполне возможно, что ϑ' будет $>\beta+\vartheta$. Но тогда, вследствие $\beta'+\vartheta'>\beta+\vartheta$, будет также $\alpha+\eta'>\alpha+\eta$, откуда опять же следует, что немагнитное железо b может притягиваться магнитом A с большей силой, чем магнит B.

Тот, кто поймет это, как следует, сможет применить это без труда к случаю, когда вместо магнита A берется или очень слабый магнит, или простое, не магнитное железо. Он найдет, что и в этом случае получаются совершенно сходные результаты. Итак, уже второй раз получается так, что при

помощи нашей теории нам удается дать очень легкое объяснение явления, которое не могут не считать чрезвычайно трудным те, кому оно известно только из опыта.

175. Чтобы покончить с исследованием действия магнита на другой магнит, нам остается обсудить случай, когда магниты обращены друг к другу одинаковыми, т. е. одноименными полюсами. Поэтому примем сперва, что магниты *AD* и *EH* (фиг. XXXV) обращены друг к другу положительными полюсами, т. е. такими, в которых имеется избыток магнитной жидкости. Следовательно, каждый из этих магнитов отталкивает магнитную жидкость, содержащуюся в другом. Поэтому магнит *AD* побуждает некоторую часть магнитной жидкости, находящейся в избытке около конца другого *E* магнита, перейти во внутренние его части и, со своей стороны, магнит *EH* производит сходное действие на магнит *AD*.



Фиг. XXXV.

Назовем количество жидкости, которое таким образом выгнано из конца *E*, буквой η, а то количество жидкости, которое из конца *E* перешло во внутренние части магнита, буквой ϑ. Во всем прочем сохраним примененные раньше обозначения. Если мы теперь представим себе, что каждый из магнитов разделен на три части: *AB*, *BC*, *CD* и *EF*, *FG*, *GH*, и если мы примем, что избыток количества жидкости в *AB* равен $\frac{\alpha}{2}-\eta$, в *BC* равен $\frac{\alpha}{2}+\eta$, в *CD* он равен $-\alpha$, и также, что избыток жидкости в *EF* равен $\frac{\beta}{2}-\vartheta$, в *FG* он равен $\frac{\beta}{2}+\vartheta$, в *GH* он равен β, и затем подставим первые три значения в общую формулу § 43 вместо a, b и c, а последние три значения — вместо e, f и g, то получится формула, выражающая силу, с которой магниты *AD* и *EH* притягивают друг друга.

176. При этом получится тот же результат, как если бы в формулу § 43 сперва были подставлены отрицательные c и g. В этом случае получается

$$\frac{-(ar+br'-cr'')e-(a\rho+b\rho'-c\rho'')f+(a\mathfrak{r}+b\mathfrak{r}'-c\mathfrak{r})g}{Qq}.$$

Далее подставим $a=\frac{\alpha}{2}-\eta$, $b=\frac{\alpha}{2}+\eta$, $c=\alpha$, $e=\frac{\beta}{2}-\vartheta$, $f=\frac{\beta}{2}+\vartheta$, $g=\beta$. В зависимости от выбора того или иного значения количеств η и ϑ, которые, как это само собой разумеется, являются переменными величинами, значение этой формулы будет то отрицательным, то равным нулю, то положительным. Чтобы это стало несколько яснее, постараемся выявить случаи, в которых каждая из этих возможностей может иметь место. Я утверждаю, что, пока η и ϑ не превосходят по величине $\frac{\alpha}{2}$ и $\frac{\beta}{2}$, т. е. пока значения a и e положительны, значение формулы всегда отрицательное. А именно, мы имеем

1) $r''<r'$ и $c=a+b$, откуда $cr''<ar'+br'$. Но так как $r'<r$, а поэтому и $ar'<ar$, то отсюда следует, что во всяком случае и $cr''<ar+br'$; значит, количество $ar+br'-cr''$ всегда положительно. Совершенно таким же путем доказывается, что и количества $a\rho+b\rho'-c\rho''$ и $a\mathfrak{r}+b\mathfrak{r}'-c\mathfrak{r}''$ положительны. Затем,

2) так как отталкивания $\mathfrak{r}'$ и $\mathfrak{r}''$ относятся к расстояниям, отличающимся друг от друга на такую же величину, как относящиеся к ρ' и ρ'' (§ 43), но бо́льшим, чем эти расстояния, к которым относятся ρ' и ρ'' (§ 43), то $\rho'-\rho''$ будет больше $\mathfrak{r}'-\mathfrak{r}''$ (§ 140 и сл. и § 149). Следовательно, так как $a+b=c$, то $a\rho'+b\rho'-c\rho''>a\mathfrak{r}'+b\mathfrak{r}'-c\mathfrak{r}'$. Но подобным же образом $\rho-\rho'>\mathfrak{r}-\mathfrak{r}'$, а также $a\rho-a\rho'>a\mathfrak{r}-a\mathfrak{r}$. Но так как мы получили

$$a\rho'+b\rho'-c\rho''>a\mathfrak{r}'+b\mathfrak{r}'+c\mathfrak{r}''$$

и

$$a\rho-a\rho'>a\mathfrak{r}-a\mathfrak{r}',$$

то, суммируя, получаем

$$a\rho + b\rho - c\rho'' > a\mathfrak{r} + b\mathfrak{r}' - c\mathfrak{r}''.$$

Таким же путем покажем, что

$$ar + br' - cr'' > a\mathfrak{r} + b\mathfrak{r}' - c\mathfrak{r}''$$

и больше $a\rho + b\rho' - c\rho''$.

Для большей краткости выражения пусть

$$ar + br' - cr'' = P, \quad (a\rho + b\rho' - c\rho'') = Q$$

и

$$(a\mathfrak{r} + b\mathfrak{r}' - c\mathfrak{r}'') = R.$$

Но так как в силу предложенного выше $P > R$ и $Q > R$, то и $Pe > Re$ и $Qf > Rf$, откуда $Pe + Qf > Re + Rf$, или, так как $e + f = g$, то $Pe + Qf > Rg$.

Отсюда, наконец, непосредственно следует, что при сделанных нами допущениях, значение вышенайденной формулы, выражающей магнитную силу притяжения, будет всегда отрицательным.

177. Если же η и ϑ возрастают до тех пор, пока либо a, либо e не станет отрицательным, значение нашей формулы должно стать положительным. Чтобы сделать это ясным, пусть сначала e будет отрицательным и равным $-\gamma$; так как a и в этом случае положительное, то все то, что было доказано в пунктах 1 и 2 предыдущего параграфа, остается в силе и в этом случае. Так как $e = \frac{\beta}{2} - \vartheta = -\gamma$, $\vartheta = \frac{\beta}{2} + \gamma$, f будет равно в этом случае $\beta + \gamma$, откуда числитель нашей формулы, $-Pe - Qf + Rg$, получит вид $+P\gamma - Q\beta - Q\gamma + R\beta$. Но так как $R > Q$, то $R\beta - Q\beta$ отрицательно, а так как $P > Q$, то $P\gamma - Q\gamma$ положительно; поэтому очевидно, что можно выбрать такие значения для γ, чтобы было $P\gamma - Q\gamma > Q\beta - R\beta$, а следовательно, чтобы и значение нашей формулы было положительным. Но наша общая формула

(§ 176) путем перенесения ее членов может быть приведена также к виду

$$\frac{-(er+f\rho-g\tau)a-(er'+f\rho'-g\tau')b+(er''+f\rho''-g\tau'')c}{Qq},$$

для краткости обозначим ее через $\frac{-La-Mb+Nc}{Qq}$. При помощи рассуждений, весьма сходных с теми, которые я применил в § 176, можно, очевидно, доказать следующее: пока e будет положительным и количества L, M и N будут положительными, а также будет $L>M$ и $M>N$. Итак, если $a=\frac{\alpha}{2}-\eta$ будет отрицательным и будет равно $-\delta$, то будет $\eta=\frac{\alpha}{2}+\delta$ и $b=\alpha+\delta$, откуда числитель формулы получит вид $+L\delta-M\alpha-M\delta+N\alpha$. Но так как $L>M$, а $M>N$, то $L\delta-M\delta$ положительно, а $N\alpha-M\alpha$ отрицательно, следовательно, само собой разумеется, что можно выбрать также значения для δ, чтобы $L\delta-M\delta$ было $>M\alpha-N\alpha$ и чтобы формула, выражающая силу притяжения магнитов, была положительной.

178. Нет никакой нужды далее углубляться в это исследование: для нас достаточно показать в общем виде, что при тех или иных условиях значение силы, с которой магниты притягивают друг друга, перешло из отрицательного в положительное. Итак, в том случае, когда 2 магнита обращены друг к другу положительными полюсами, возможен различный результат опыта: они могут отталкивать друг друга, но возможно также, что они будут друг друга притягивать; возможно и то, что они вовсе не действуют друг на друга. Но два последних случая возможны только тогда, когда η и ϑ столь велики, что либо a, либо e стало отрицательным (§ 176), а эти количества увеличиваются в том случае, если

1) увеличивается сила магнитов, действующих друг на друга;

2) уменьшается расстояние между ними;

3) если магнитная жидкость оказывает меньшее сопротивление отталкиванию, т. е. если магниты состоят из более мягкого железа.

Поэтому ясно, что взаимное отталкивание магнитов может перейти в притяжение, если

1) магнит AD будет заменен другим, более благородным и обладающим большими силами;

2) если приблизить магниты AD и EH друг к другу;

3) если вместо магнита EH будет взят другой, состоящий из более мягкого железа.

Отсюда без труда можно понять причину некоторых парадоксальных явлений; действительно, из сказанного легко видеть, почему иногда магниты, находящиеся на большем расстоянии друг от друга, отталкиваются друг от друга, а если их сблизить между собой, они притягивают друг друга (пункт 1), и почему иногда более сильный магнит может притягивать такой магнит, который более слабый отталкивает (пункты 2 и 3).

179. Все это можно приложить к случаю, когда магниты обращены друг к другу теми концами, из которых опорожнена магнитная жидкость. В этом случае каждый из двух магнитов будет притягивать жидкость, содержащуюся в другом, вследствие чего как в магните AD, так и в магните EH магнитная материя должна переходить из более далеких частей по направлению к концам A и E. Таким же образом, как в предшествующем случае, мы можем сделать допущение, что оба магнита как бы разделены каждый на три части, и если мы поставим в общую формулу § 43 $a = -\frac{\alpha}{2} + \eta$, $b = -\frac{\alpha}{2} - \eta$, $c = \alpha$, $e = -\frac{\beta}{2} + \vartheta$, $f = -\frac{\beta}{2} - \vartheta$, $g = \beta$, то мы получим выражение для силы, с которой каждый магнит притягивает другой. При этом получится тот же результат, как если бы мы в общую формулу сперва подставили отрицательные a, b, e и f. В этом случае получается

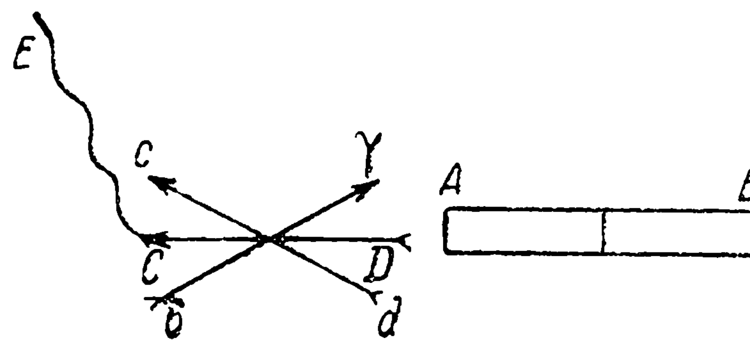
$$\frac{-(ar + br' - cr'')\,e - (a\rho + b\rho' - c\rho'')\,f + (a\tau + b\tau' - c\tau'')\,g}{Qq}.$$

Теперь подставим: $a = \frac{\alpha}{2} - \eta$, $b = \frac{\alpha}{2} + \eta$, $c = \alpha$, $e = \frac{\beta}{2} - \vartheta$, $f = \frac{\beta}{2} + \vartheta$ и $g = \beta$.

180. Так как полученная здесь формула точно совпадает с той, которая выведена в § 176, то сюда можно применить все то, что было сказано выше (§§ 176, 177, 178) и что было бы излишне повторять. Поэтому я относительно этого случая не добавляю ничего больше. Авторы, описывающие свойства магнитов, обычно руководятся правилами, вполне сходными с теми, которыми руководятся авторы, пишущие об электричестве, как я показал в § 147. Это два следующих правила: одноименные полюсы магнитов отталкивают друг друга, разноименные же притягивают. Что касается второго правила, то ничто не препятствует тому, чтобы считать его верным, ибо оно вполне согласуется и с теорией и со всеми данными опыта (§ 173); но первое правило в том виде, как оно обычно формулируется, может ввести в заблуждение, как это с достаточной ясностью вытекает из § 177. Если же обратить это правило, то мы можем считать его в общем виде правильным и формулировать его так: полюсы, отталкивающие друг друга, одноименны. Действительно, только в этом случае может получиться так, что магниты отталкивают друг друга; это в достаточной мере ясно из того, что в остальных случаях всегда между этими полюсами имеет место взаимное притяжение.

181. Нетрудно проверить на деле, что опыт прекрасно согласуется с нашей теорией и сделанными из нее выводами. То, что противоположные полюсы магнитов притягивают друг друга, достаточно известно. Однако, мне кажется, что стоит труда привести некоторые опыты, доказывающие правильность предложений, выведенных в §§ 177 и 178. Итак, поставим около магнита *AB* (фиг. XXXVI) магнитную стрелку *CD*, северный полюс которой *C*, а южный *D*. Тогда сразу же стрелка займет такое положение, что ее южный полюс *D* будет обращен прямо к северному полюсу магнита *A*. Затем

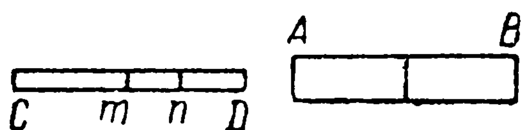
с помощью нити CE, присоединенной к концу ее C или каким-либо иным образом, повернем стрелку вокруг точки F[44] и заставим конец стрелки C приблизиться к полюсу A. После этого, т. е. после того как стрелка будет приведена в положение cd, мы сначала, правда, заметим, что стрелка все еще стремится занять прежнее положение CD; это показывает, что конец C все еще отталкивается. Если же мы заставим конец C все ближе подходить к полюсу A, то он в конце концов дойдет до какого-то определенного предельного положения, напр. $\gamma\delta$, когда отталкивание внезапно сменится притяжением и стрелка сама по себе расположится так, что она займет положение, противоположное первоначальному, именно такое, что конец C будет обращен к полюсу A. Такой же результат получится, если полюс A будет не северным, как мы здесь предположили, но наоборот, если для опыта будет взят южный полюс. Но необходимо, чтобы магнит был достаточно благородным и чтобы стрелку достаточно приблизили к нему; ибо если не соблюсти этого правила, то отталкивание может не перейти в притяжение, а стрелка сама по себе вернется в положение CD. Такой переход силы отталкивания в силу притяжения наблюдал при помощи весьма чувствительных весов знаменитейший Мушенбрёк[45] и очень ему удивлялся.



Фиг. XXXVI.

182. До сих пор я допускал, будто в любом магните положительно-магнитная часть всегда равна по величине отрицательно-магнитной части и что в каждой из этих частей жидкость распределена равномерно. Но я сам обращал уже внимание на то, что я считаю оба эти допущения не во всех случаях верными, но что я предположил, будто они верны, только для удобства вычисления (я прибег к таким вычислениям, чтобы избежать излишней пространности обычной речи).

Действительно, ясно, что и эти части могут быть не равны друг другу и магнитная жидкость может быть распределена неравномерно. Я был вправе делать такие допущения, не вполне соответствующие самой природе допущений, и мог при этом не приходить к неправильным выводам только до тех пор, пока речь шла лишь об общих законах действия магнита, а не об определенной величине этого действия.[46] Ведь ясно, что получатся вполне сходные выводы и в тех случаях, когда положительные и отрицательные части магнитов не равны между собой, а жидкость не распределена равномерно. Остается привести еще несколько относящихся сюда моих опытов, которые требуют, чтобы мы приняли во внимание неравенство частей и неравномерность распределения магнитной жидкости, если мы хотим дать правильное объяснение причин наблюдаемых явлений.



Фиг. XXXVII.

183. Мы начнем с более тщательного описания этих опытов. Чтобы убедиться на опыте, что́ происходит с магнитами, когда они приближаются друг к другу и когда они действуют друг на друга, я приступил к опытам следующим образом. Я намагнитил цилиндрическую железную проволоку CD (фиг. XXXVII), имеющую в диаметре основания приблизительно 1 линию, а в длину 10 д. 7 л. (т. е. десятых частей дюйма), так, чтобы магнитный центр находился в m, и чтобы Cm было южным полюсом, а mD — северным полюсом, из которых первый имел в длину 5 д. 8 л. Против северного полюса проволоки я затем поместил северный полюс A очень сильного магнита AB на расстоянии AD и обнаружил, что магнитный центр m, как бы убегая от полюса A, значительно передвинулся в направлении к C. В дальнейшем, чем ближе я придвигал магнит, тем больше магнитный центр отталкивался к C. Так, при AD, равном

1 д. 5 л. Cm было равно 5 д. $6^1/_2$ л.
0 — 5 — — — — 4 — $9^1/_2$ —

0 д. 1 л.	*Cm*	было равно	4 д.	0	л.
0 — 0 —	—	—	3 —	$0^1/_2$	—
(т. е. при полном соприкосновении)					

Точно так же и в другом опыте, когда длина проволоки была равна 8 д. 6 л. и когда *Cm* до приближения магнита оказалось равным 4 д. 3 л.; после того как *AD* стало равным

1 д. 5 л.,	*Cm*	было равно	3 д.	$9^1/_2$	л.
1 — 0 —	—	—	3 —	7	—
0 — 5 —	—	—	3 —	2	—
0 — 0 —	—	—	2 —	1	—

Я поставил целый ряд опытов такого же рода, изменяя при этом условия опыта и применяя северный полюс вместо южного; но так как эти опыты всегда приводили к одному и тому же результату, то нет нужды их описывать.

184. Если в этих опытах магнит *AB* придвигали слишком близко к концу *D* проволоки или если он вплотную с ней соприкасался, то после удаления магнита оказывалось, что проволока имеет три полюса и два магнитных центра, *m* и *n*. А именно, *Cm* было южным полюсом, *mn* — северным, *nD* — снова южным. Так в первом из опытов, рассмотренных в предыдущем параграфе, после того как проволока коснулась магнита и затем магнит был убран, южный полюс *Cm* имел 3 д. $^1/_2$ л. в длину, северный *mn* имел 6 д. 5 л. в длину, и *nD*, опять южный, имел 1 д. 2 л. в длину. Во втором опыте, после соприкосновения, за южным полюсом *Cm*, имевшим в длину 2 д. 1 л., следовал северный, *mn*, длиной в 5 д. 2 л., а за ним — снова южный, *nD*, длиной в 1 д. 1 л. Совершенно таков же был результат большей части других опытов. В этих опытах я применял проволоки более значительной длины; если же я пользовался более короткими, то результат получался несколько иной. Так, напр., если я применял железную проволоку длиной в 4 д. 5 л. и другие еще более

короткие, то, правда, и здесь и в предыдущих опытах магнитный центр *m* тем более приближался к концу *C*, чем ближе придвигался магнит; но когда я, после того как проволока коснулась магнита, подверг ее новому исследованию, то уже не обнаружилось три полюса и два магнитных центра, как это обычно бывает в более длинных проволоках, но только один центр и два полюса. Однако в этом случае полюсы как бы переменились местами: конец *Cm*, который до этого был, скажем, южным, теперь стал северным полюсом, а *mD* стал обладать свойствами южного полюса.

185. Другим достойным упоминания явлением в этом опыте с применением коротких проволок было следующее: если отмечалось место, которому соответствовал магнитный центр, пока магнит был близок к проволоке, а после этого, по удалении магнита, снова отыскивалось место, соответствующее магнитному центру, то оказывалось, что он сам по себе несколько перемещался от конца *C* к *D*. Так, напр., когда я применял проволоку длиной в 3 д. 2 л., то, пока магнит отстоял на 1 д. от конца *D*, расстояние магнитного центра от конца *C*, т. е. *Cm*, было равно 9 л., а по удалении магнита *Cm* сейчас же снова возросло до 1 д. $5^1/_2$ л. В другой раз на проволоке длиной в 2 д. 1 л. по приближении магнита на расстояние 2 д., *Cm* было равно 7 л.; по удалении же магнита оно увеличилось в длину до 1 д. $^1/_2$ л.

186. Прежде чем выводить причины этих явлений из нашей теории, мы считаем себя обязанными предварительно напомнить, что мы вынуждены воздержаться от точных расчетов, ибо произвести их невозможно, пока неизвестно точное функциональное выражение для магнитных отталкиваний. Тем не менее, можно весьма убедительно показать, в какой мере эти явления согласуются с теорией, так что выведенные здесь основы магнитной теории смогут быть в очень большой степени подкреплены этими опытами. Итак, представим себе сперва, что проволока *CD* и магнит *AB* (фиг. XXXVIII) обращены друг к другу положительными полюсами. В таком

случае в Dm имеется избыток магнитной жидкости сверх естественного количества на некоторое определенное количество, которое мы будем представлять себе равномерно распределенным по всей части mD. Вообразим себе теперь, что цилиндр mD, состоящий из жидкости, как бы замерз и стал твердым и, несмотря на это, движется внутри проволоки, встречая не большее сопротивление, чем до этого. В таком случае весь цилиндр Dm, еще до того, как к нему приблизили магнит, стремится двигаться по направлению к части mC, из которой удалена магнитная жидкость, ибо эта часть притягивает его, но в действительности вследствие сопротивления, которое магнитная жидкость встречает при прохождении через поры магнита, он не сможет передвинуться в сторону части mC. Когда же приблизится магнит A, он будет толкать весь цилиндр: поэтому этот цилиндр, уже с большей силой, чем до этого, будет отталкиваться по направлению к C и в действительности немного продвинется в эту сторону. Но в конце концов это движение прекратится. В самом деле, так как сила, с которой магнит A толкает цилиндр mD, уменьшается с увеличением расстояния, то, чем больше продвинется цилиндр, тем меньшая сила будет на него действовать; поэтому он должен раньше или позже дойти до места, в котором сила, толкающая его к C, настолько уменьшится, что она уже не сможет преодолеть сопротивление, которое цилиндр встречает при продвижении через поры железа, и тогда его движение совершенно прекратится.



Фиг. XXXVIII.

187. Примем, что цилиндр Dm, который подвергается такого рода отталкиванию, передвинут в место np, и представим себе теперь, что он сразу же вновь расплавлен, так что каждая частица жидкости может свободно подвергаться воздействию, производимому на нее силой. Если, приняв такие предпосылки, мы сначала обратим внимание на частицы,

находящиеся вокруг p, то ясно, что они должны оставаться в покое: они находятся под действием силы, толкающей их в направлении к C с силой, которая недостаточна для того, чтобы преодолеть сопротивление, которое жидкость встречает при продвижении через поры железа. Если бы не было этого сопротивления, весь цилиндр должен был бы продвинуться еще дальше по направлению к C. Частицы же, находящиеся около n, так как они побуждаются к перемещению в направлении к D силой притяжения части Dn, освобожденной от жидкости, и части pn, наполненной жидкостью, могут немного утечь в направлении к D, поскольку это позволяет сила отталкивания магнита A, препятствующая этому переходу. Каждый, кто захочет обдумать этот вопрос несколько внимательнее, сможет убедиться в том, что такое положение получится, когда, как правило, около p окажется большее количество жидкости, чем около D, но, поскольку условия могут быть различными, возможно и то, что в одних случаях будет избыток жидкости около D, однако в меньшей степени, чем около p, а в других — будет недостаток. В самом деле, чем больше сила отталкивания, с которой действует магнит A, тем меньше должно быть количество жидкости, находящейся около D.

188. Непосредственно из сказанного можно объяснить причину того, что магнитный центр, при приближении магнита A, должен тем более отталкиваться к концу C, чем более магнит приближается к концу D. Вместе с тем ясно также, что в том случае, когда магнит обладает достаточно большой силой и придвигается ближе к проволоке, может оказаться, что конец D проволоки опорожнится от жидкости и станет отрицательно-магнитным; в этом случае проволока получит два магнитных центра. Особенно же легко вывести отсюда причину явлений, рассмотренных в § 183 и в начале § 184; точно так же без всякого труда можно понять, что в том случае, когда проволока достаточно коротка, а магнит достаточно близко придвинут, может получиться так, что

сила, отталкивающая цилиндр Dm, станет столь большой, что она оттолкнет его до самого конца C и что он даже будет в силу необходимости изливаться из конца C. Если это случится, то конец C, после начала опыта, будет не отрицательно-, а положительно-магнитным и не будет уже, как это бывает, когда проволока имеет значительную длину, иметь три полюса, но только два, из которых Cn — положительный, а nD — отрицательный (фиг. XXXVIII). Сюда относятся опыты, описанные мною в конце § 184.

189. Как мне кажется, возможно, что в том случае, если проволока будет очень короткой, а магнит очень большой силы, весь цилиндр nC будет вытолкнут из конца C; в этом случае вся проволока CD должна стать отрицательно-магнитной, но с таким распределением жидкости, что около D она будет опорожнена в большей степени, а около C — в меньшей. В том, что в действительности иногда так происходит, меня убедил ряд опытов. Так, напр., при применении проволоки длиной в 2 д. 1 л., которая до начала опыта имела магнитный центр в m, так что Cm был равен 1 д. 1 л. (фиг. XXXVIII), после того как приблизили магнит на расстояние AD, равна 3 д. 0 л., Cm стал равен 0 д. 9 л.

2 — 0 —	—	—	—	0 — 7 —				
1 — 0 —	—	—	—	проволока	вовсе	не	имела	центра
0 — 5 —	—	—	—	—	—	—	—	—
0 — 2½ —	—	—	—	—	—	—	—	—
0 — 0 —	—	—	—	—	—	—	—	—

Что́ должно получиться в этом случае по удалении магнита, легко заключить из того, что было сказано в конце главы I, § 99.

190. Если, далее, цилиндр np передвинется настолько, что пространство Dn опорожнится от жидкости, то цилиндр очень большой величины по сравнению с опорожненной частью Cm (фиг. XXXVIII) будет понуждаем к перемещению по направлению к C силой притяжения части pC, которую мы назовем m, и силой отталкивания магнита A, кото-

рую мы назовем R, а в направлении к D — силой притяжения части Dn, которую мы назовем n. Значит, вся сила, толкающая цилиндр к C, равна $R + m - n$; по удалении магнита она переходит в $m - n$. Если n превзойдет по величине m (а это вполне возможно), то эта сила станет отрицательной и цилиндр np по удалении магнита будет стремиться передвинуться назад по направлению к D. Итак, если эта сила будет достаточно велика, чтобы преодолеть то сопротивление, которое встречает жидкость при продвижении по порам проволоки, то цилиндр, по удалении магнита A, фактически продвинется к D. Именно это и происходит в опыте, описанном в § 185; причина этого явления, следовательно, становится теперь совершенно ясной. В то же время вполне ясно, что для того чтобы получить это явление, требуется, чтобы сила притяжения части nD значительно превосходила силу притяжения части mC, ибо для получения этого результата необходимо, чтобы сила n была значительно больше, чем сила m. Отсюда вполне очевидно, почему это явление наблюдается только в том случае, когда магнит придвинут на очень близкое расстояние, и если применяется очень короткая проволока; дело в том, что в более длинной проволоке опорожненная от жидкости часть Cm остается слишком большой для того, чтобы мог получиться такой результат. И действительно, на более длинных проволоках я никогда не обнаруживал, чтобы по удалении магнита магнитный центр заметным образом передвигался назад по направлению к C, но мне удалось наблюдать это только на коротких проволоках.

191. Если мы теперь рассмотрим второй случай, когда к отрицательно-магнитному концу D придвигают отрицательный полюс магнита A (фиг. XXXIX), то нетрудно показать, что и в этом случае будут наблюдаться сходные явления. Действительно, частицы, находящиеся в наполненной части около m, будут до приближения магнита находиться под действием сил, побуждающих их к передвижению по направ-

лению к D, а именно, силы притяжения части mD и силы отталкивания части mC; однако, так как эти силы недостаточны для того, чтобы преодолеть сопротивление, которое жидкость встречает при продвижении через поры, они не передвигаются фактически. Когда же к этому присоединяется еще сила притяжения магнита A, то частицы преодолевают это сопротивление и должны перемещаться фактически. Однако по мере их приближения к полюсу A сила притяжения все более увеличивается; поэтому они не могут остановиться, но передвигаются по направлению к концу D. Сходное действие магнит производит также и на остальные частицы, из которых состоит цилиндр Cm, но, поскольку они более удалены от него, он действует на них с меньшей силой. Так, напр., частица, находящаяся около n, будет побуждаться к передвижению по направлению к D с гораздо меньшей силой, чем частица, находящаяся около m; правда, и она находится под действием силы притяжения части mD и магнита A и силы отталкивания части nC, побуждающих ее к передвижению по направлению к D, но очевидно, что две первые силы, вследствие увеличения расстояния, и третья, вследствие того, что часть $Dn > Dm$, меньше, чем те три силы, которые толкают частицу, находящуюся около m, а кроме того, сила отталкивания части nm также уменьшает стремление к передвижению в направлении к D. Продвижению по направлению к D будет в конце концов поставлен предел; это произойдет тогда, когда сила, толкающая в направлении к D частицы, расположенные за ним, станет недостаточно большой для того, чтобы преодолеть сопротивление движению. Пусть этим пределом будет n; значит, весь цилиндр Cn должен остаться неподвижным, часть nm как бы оторвется от него, а частицы, составляющие ее, распределятся по всей части C, но так, что лишь немногие из них будут находиться около n, а бóльшая часть окажется около C.

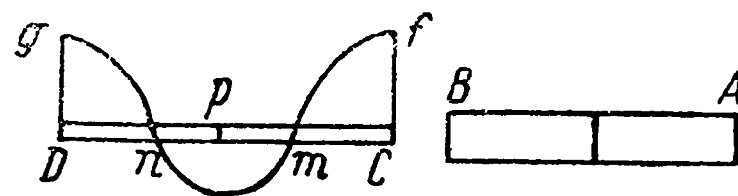


Фиг. XXXIX.

192. Итак, из этого случая ясно, что магнитный центр должен несколько продвинуться в направлении к *C*. Но так как частицы жидкости, находящиеся в *nC*, стремятся передвинуться по направлению к *D*, то может получиться следующее: если сила притяжения магнита будет достаточно большой, то на этот конец перейдет такое количество жидкости, что он станет положительно-магнитным. Если же эта сила будет меньшей, то может получиться и так, что конец *D* останется отрицательно-магнитным, но в меньшей степени, чем это было до приближения магнита. Это происходит в том случае, если жидкости, перешедшей в *D*, нехватает для восполнения недостатка. Итак, ясно, почему и в этом случае магнитный центр как бы убегает от полюса *A*, и если магнит достаточно силен и поднесен на достаточно близкое расстояние, то конец *D* становится положительно-магнитным, так что магнит получает три полюса и два магнитных центра. Но может еще получиться, что сила магнита окажется столь большой, а проволока *CD* столь короткой, что точка *n* попадает в *C*; в этом случае весь цилиндр *mC* должен передвинуться по направлению к *D*, так что конец *C* окажется опорожненным от жидкости, а *D* — наполненным ею. В этом случае проволока получит не три, а только два полюса и лишь один центр. Если же, наконец, сила магнита *B* столь велика, что частицы магнитной жидкости, находящиеся вне проволоки около *C*, притягиваются с силой, превышающей то сопротивление, которое препятствует их проникновению в конец *D*, то может получиться так, что вся проволока наполнится магнитной жидкостью сверх естественного количества и окажется положительно-магнитной, но около *D* в большей степени, чем около *C*. Из § 98 нетрудно понять, что́ должно случиться, если мы после этого удалим магнит.

193. Выше я сделал допущение, будто магнитная жидкость в каждой из частей проволоки — и в той, в которой ее избыток, и в той, в которой ее недостаток — распределена равно-

мерно; но я уже несколько раз обращал внимание на то, что это допущение — ложное и не может иметь места в природе вещей. Тем не менее его допустимо применять до тех пор, пока, как я это и делал, из нее выводятся заключения, которые мало изменятся и в том случае, если мы представим себе, что жидкость распределена неравномерно, как это и имеет место в действительности. Остается еще одно явление, которое было бы трудно объяснить, если бы мы не приняли так или иначе во внимание неравномерное распределение жидкости. Представим себе в том случае, который мы рассматривали выше, что магнит B обладает столь большой силой и столь близок к проволоке, что она получает три полюса: положительный Cm (фиг. XL), отрицательный mn и положительный nD, и пусть количество жидкости, накопившейся около nD, значительно меньше, чем избыток жидкости около C. В этом случае плотность жидкости в любой части проволоки может быть выражена при помощи кривой $fmng$; каждая ее аппликата[47] показывает, каков избыток или недостаток количества жидкости по сравнению с естественным количеством в соответствующей ей точке; при этом аппликаты, проходящие над осью, надо понимать как положительные, а под осью — как отрицательные. Любая частица жидкости, находящаяся в части nm, напр. p, побуждается силой отталкивания части mC к движению по направлению к n; часть же nD толкает ее к m. Пусть первая из этих сил равна m, вторая равна n; тогда вся сила, с которой частица p побуждается к передвижению по направлению к n, равна $m - n$; ясно, что эта сила будет положительной, если будет значительно превосходить n, т. е., если в части mC окажется много больше жидкости, чем в mD. Итак, сила $m - n$ может оказаться не только положительной, но к тому же еще (как это само собой



Фиг. XL.

разумеется) столь большой, что она сможет преодолеть сопротивление, которое встречает жидкость при продвижении через поры железа. При таком положении вещей частица p должна была бы передвинуться по направлению к n, если бы ее не удерживал притягивающий ее магнит B. Если же удалим магнит, то и она и другие смежные частицы подчинятся силе, действующей на нее, и фактически подвинутся в направлении к n. Поэтому плотность жидкости в точке n увеличится: если прежде аппликата, соответствующая этой точке, равнялась нулю, то теперь этой точке уже будет соответствовать положительная аппликата. Ясно, что при таком положении вещей магнитный центр должен немного передвинуться по направлению к C.



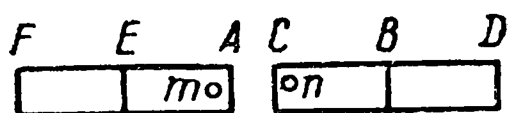
Глава III

О ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И МАГНЕТИЗМА

194. Из опыта прекрасно известно, что электрические и магнитные тела могут передавать свою силу другим телам; более того, поскольку речь идет о магнетизме, я ниже покажу, что все известные до сих пор способы сделать какое-либо тело магнитным сводятся только к передаче магнетизма; это означает, что если бы не было тел, которые сама природа, без помощи человеческого искусства, наделила магнетизмом, то мы не имели бы никакой возможности сделать какое-либо тело магнитным. Поэтому учение о передаче сил, теорию которого мы здесь исследуем, следует отнести к числу наиболее достойных рассмотрения вопросов. Это учение еще и потому заслуживает весьма тщательного исследования, что, во-первых, в результате занятий им изящным образом выявляется сходство между силами электричества и магнетизма, а во-вторых, отсюда можно вывести всю теорию искусственного магнетизма. Я начну с изложения законов передачи электрической силы, после чего я перейду к выводу законов передачи магнетизма, переход к которым будет уже легким.

195. Пусть имеется некоторое положительно-электрическое тело A (фиг. XLI), и представим себе, что его приближают к другому телу B, окруженному со всех сторон телами, электрическими по своей природе; представим себе также,

что есть некоторая причина, препятствующая переходу некоторого количества жидкости из одного тела в другое. Если мы теперь рассмотрим, что̀ должно произойти в этом случае, то из изложенного выше (повторять сказанное было бы излишне) ясно, что сила отталкивания жидкости, находящейся в избытке в A, будет причиной того, что электрическая жидкость, находящаяся в B, будет вынуждена оставить конец C и накопиться у второго конца D. Итак, очевидно, что частица электрической жидкости, находящаяся в месте соприкосновения тел, напр. m, будет стремиться перейти из тела A в тело B; это стремление будет иметь успех, если только не будет существовать какой-либо причины, препятствующей этому. Поэтому представим себе, что препятствие, существование которого мы выше предположили, устранено; при этом нам придется отдельно разобрать несколько случаев. Либо каждое из тел A и B неэлектрическое по природе, либо, по крайней мере, одно из них, либо, наконец, каждое из них электрическое по своей природе. В первом случае ясно, что жидкость должна фактически перейти из A в B. Легко понять, что жидкость остановится и придет в состояние покоя не раньше, чем она будет распределена равномерно по всей совокупности тел A и B, и притом так, что в любой ее части она будет иметь одну и ту же плотность. Действительно, если мы представим себе, что в какой-либо части жидкость будет иметь бо̀льшую плотность, чем в смежной, то частицы жидкости будут побуждаемы к передвижению по направлению ко второй части, и равновесие установится не ранее, чем после того, как жидкость будет доведена до равномерной плотности повсюду.



Фиг. XLI.

196. Пусть естественное количество жидкости, приходящееся на тело A, равно q; а приходящееся на B, равно Q; пусть избыток количества жидкости в теле A, до его соприкосновения с телом B, равен α; тогда сила, с которой тело A,

находящееся в таком состоянии,[48] действует на частицы электрической жидкости, отталкивая их, равна $\frac{\alpha r}{q}$. После же того, как жидкость будет равномерно распределена по совокупности тел, эта сила окажется равной $\frac{\alpha r}{q+Q}$. Отсюда ясно, что электрическая сила, с которой действует совокупность тела, после того как распределение жидкости стало равномерным, меньше той силы, с которой действовало одно только тело A до того, как оно вступило в соприкосновение с телом B, ибо $\frac{\alpha r}{q}$ во всех случаях больше, чем $\frac{\alpha r}{q+Q}$, и первое количество тем больше превосходит второе, чем больше Q. Итак, если мы допустим, что масса тела A, которому пропорционально количество Q, по сравнению с массой тела A и самой величиной q бесконечна или, по крайней мере, очень велика, то сила указанной совокупности тел, после того как распределение станет равномерным, станет равной нулю или, во всяком случае, недоступной чувствам. Следовательно, если тело B вступит в соприкосновение с другими телами, неэлектрическими по природе, и через их посредство будет соединено с земным шаром (который по сравнению с любым телом, искусственно наэлектризованным, может считаться бесконечно большим) и вместе с ним образует одно непрерывное тело, то все электричество тела A, как бы поглощенное земным шаром, станет равным нулю. Если же тело B будет надлежащим образом помещено на подставку и будет иметь конечную величину, то оно, вследствие соприкосновения с телом A, станет электрическим и притом таким же положительным, каким было тело, от которого оно получило электричество.

197. Без большого труда каждый из читателей сможет приложить сказанное к обратному случаю, когда тело отрицательно-электрическое. В этом случае тело A, притягивая электрическую материю, содержащуюся в B, производит такое действие, что конец C наполнится жидкостью, а D

опорожнится от жидкости; из этого ясно, что частица жидкости n, находящаяся в B, около места соприкосновения обоих тел, должна стремиться перейти в тело A. Поэтому, если тела, рассматриваемые нами, не электрические по природе, и нет также никакой другой причины, которая могла бы помешать фактическому переходу, то переход частицы n из B в A должен произойти в действительности. Этот переход не может прекратиться раньше, чем жидкость будет распределена равномерно по совокупности тел.[49] Поэтому если недостаток количества жидкости в A мы назовем α, так что сила, с которой тело A притягивало частицы электрической жидкости до соприкосновения с B, будет равна $\frac{\alpha r}{Q}$, то сила всей совокупности тел после равномерного распределения жидкости будет равна $\frac{\alpha r}{q+Q}$. Ясно, что в этом случае результат будет сходный с тем, который мы имели в предыдущем случае, а именно, если тело B будет очень большим по сравнению с телом A или если B будет соединено с земным шаром через посредство других тел, неэлектрических по своей природе, то электричество поглотится так, что с точки зрения чувств станет почти равным нулю. Если же тело B будет надлежащим образом помещено на подставку и будет иметь конечную величину, то совокупность тел A и B будет отрицательно-электрической, каковым было и A, но в тем меньшей степени, чем больше тело B, и в тем большей степени, чем меньше тело B.

198. Такой результат получится, если оба тела будут неэлектрическими по природе. Но совершенно другим будет результат, если либо оба тела, либо, по крайней мере, одно из них будет электрическим по своей природе. Действительно, в этом случае жидкость хотя и стремится перейти из одного тела в другое, но вследствие сопротивления, которое она встречает при выходе из пор тела, в котором ее избыток, или при проникновении в поры тела, в котором ее недостаток, переход вовсе не имеет места, либо, что вероятнее, он совер-

шается крайне медленно. Итак, в этих случаях не приходится ожидать, что она так же, как в предыдущем случае, распределится равномерно. Из предыдущей главы видно с достаточной ясностью, что́ должно случиться и в этих случаях и во всех тех, когда тело *A* подведено достаточно близко к телу *B*, а именно, настолько, что оно может действовать, отталкивая или притягивая, на содержащуюся в последнем электрическую материю, — причем, однако, фактический переход жидкости из одного тела в другое затрудняется в силу какого-нибудь препятствия. Нет нужды повторять все это для отдельных случаев и снова показывать, как эти данные опыта выводятся из теории. Поэтому достаточно будет, если я здесь перечислю только основные правила; как они выводятся из теории, можно без труда увидеть из предыдущей главы.

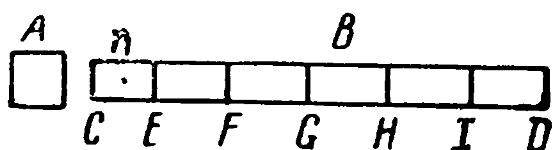
199. Итак, я принимаю в качестве несомненных и очевидных положений следующие:

1) тело *B* на своем конце *C*, обращенном к телу *A*, всегда получает электричество, обратное тому, которым обладает тело *A;* поэтому, если второе тело положительно-электрическое, то первое на конце *C* становится отрицательно-электрическим, если же то тело будет отрицательно-электрическим, то *B* становится положительно-электрическим (§§ 108 119);

2) этот результат будет всегда иметь место, но электризация получится более слабой, если тело *B* будет электрическим по своей природе, чем в том случае, если оно будет неэлектрическим по природе, и она будет тем слабее, чем в большей степени тело *B* будет электрическим по своей природе (§§ 109, 118 и 121);

3) на некотором расстоянии от конца *C* тело *B* получает то же электричество, которым обладает тело *A;* поэтому в этом месте оно становится положительно-электрическим, если *A* положительно-электрическое, и отрицательно-электрическим, если *A* отрицательно-электрическое (§§ 108 и 119);

4) Все это будет иметь место особенно в том случае, если тело B со всех сторон окружено другими телами, электрическими по своей природе; но нельзя считать эти правила вовсе не относящимися к телам, неэлектрическим по своей природе, смежными с телами, электрическими по природе. Из приведенных здесь правил к ним относятся, как это вполне очевидно, первое; что же касается третьего правила, то указанный здесь результат, как это ясно из вышеизложенного (§§ 115 и сл., 121), или вовсе не будет иметь места, или лишь в слабой степени.



Фиг. XLII.

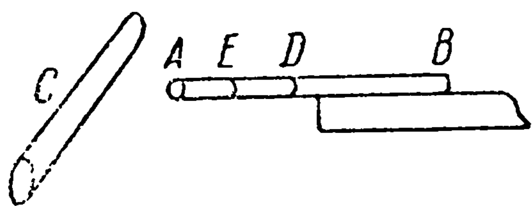
200. Этих правил достаточно для большинства явлений, которые могут иметь место в разбираемых случаях. Однако осталось еще не разобранным одно явление, вполне достойное того, чтобы им специально заняться. Представим себе, что тело B (фиг. XLII) — электрическое по своей природе и что оно имеет значительную длину; пусть, для первого случая, тело A, приведенное в близость с ним, будет положительно-электрическим. Под воздействием отталкивания, производимого телом A, электрическая жидкость, содержащаяся в теле B, перейдет с конца C в направлении к середине тела, так что она оставит некоторую часть CE опорожненной и отрицательно-электрической, а жидкость, перегнанная из CE, перейдет в EF. Здесь жидкость должна оставаться, по крайней мере на некоторое время, так как вследствие сопротивления, которое она встречает при движении по порам тела, она не может быстро растекаться по остальным частям тела. Таким образом, часть EF станет положительно-электрической, действующей как положительно-электрическое тело и поэтому отталкивающей электрическую жидкость, содержащуюся в смежной с ней части FG тела, после чего уже будет существовать причина для того, чтобы эта часть снова опорожнилась, а следующая за ней часть GH, в которую переходит перегнанная жидкость, наполнилась жидкостью.

Если теперь применить сходное рассуждение к части *GH*, то станет ясно, что снова часть *HI* должна опорожниться, а *ID* наполниться, и т. д. Итак, понятно, что вследствие приближения положительно-электрического тела *A*, тело *B* может быть приведено в такое состояние, что его конец *C* окажется отрицательным, а за ним следуют, сменяя друг друга, в зависимости от обстоятельств и от различной длины полосы, то более, то менее многочисленные части, поочередно то положительно-электрические, то отрицательно-электрические, подобно последовательным точкам, которые, как мы уже выше указали, очень часто можно наблюдать на намагниченных железных прутьях. Кроме того, без труда можно понять, что это накопление и опорожнение в чередующихся частях должно происходить в тем более слабой степени, чем дальше мы отступим от конца *C* к другому концу *D*.

201. Отсюда видно, что вполне сходные явления должны получаться и во втором случае, когда тело *A*, которое приближают к телу *B*, отрицательно-электрическое, так как с небольшими лишь изменениями все приведенные выше рассуждения можно перенести и на этот случай. Итак, все, что мы сказали в предыдущем параграфе, верно и для этого случая; разница только в том, что теперь конец *C*, обращенный к телу *A*, становится, не как в предыдущем случае, отрицательно-электрическим, а положительно-электрическим. Я не стану заниматься расчетом или более подробными исследованиями этого случая: пока функциальное выражение электрических отталкиваний не известно, эти расчеты нельзя проделать надлежащим образом и трудно рассчитывать, что они будут плодотворными. Поэтому я довольствуюсь более общими рассуждениями, данными выше, которые, впрочем, достаточно отчетливы и без выкладок. Однако я обращаю еще внимание на то, что невозможно дать общее правило, определяющее, каково должно быть число, если можно так выразиться, электрических полюсов, полученных описанным путем и чередующихся между собой; и это, не говоря уже

о других условиях опыта, в значительной части зависит от длины тела *B*. Действительно, без труда можно понять, что в более длинном теле будет большее число таких полюсов, в более коротком — меньшее и что может существовать и такая длина, когда полюсов будет только два.

202. Я пришел к изложенным здесь соображениям только из рассмотрения теории; с нетерпением желая увидеть, что правильность моих рассуждений подтверждается свидетельством опыта, я считал необходимым перейти к опыту. Однако эти старания вначале остались безуспешными. Я приступил к этому делу следующим образом. Стеклянную трубку *AB* (фиг. XLIII) одним ее концом *B* я прикрепил к доске так, что другой ее конец *A* выдавался за ее конец на несколько футов. Затем я подносил к ее концу *A* наэлектризованную трубку *C;* удалив ее, я не обнаруживал в трубке *AB* того состояния, в которое я надеялся ее привести. Не устрашенный окончательно этой неудачей, но, думая о том, как поправить дело, я начал соображать, что путем одного лишь приближения трубки *C* вряд ли можно передать трубке *AB* такое количество электричества, которое было бы достаточно для получения желанного результата. Вследствие этого я несколько изменил план постановки опыта. А именно, после того как все было сделано согласно данному выше описанию, я не только поднес наэлектризованную трубку *C* к концу *A* другой трубки, но, сверх того, еще несколько раз натер этот конец *A* трубкой *C*, как это обычно делается, когда надо передать электричество какому-нибудь телу, подвешенному на шелковых нитях или укрепленному каким-либо другим способом при помощи электризационной трубки. Когда я после этого произвел исследование, я нашел, что конец *AE* на длину 4 или 5 дюймов был положительно-электрическим; затем следовала часть *ED*, длиной приблизительно в 2 дюйма, вполне ощутимо отрицательно-электриче-



Фиг. XLIII.

ская, за ней трубка оказалась опять положительно-электрической, хотя и в слабой степени, но так, что это вполне можно было заметить. При частом повторении этот опыт давал вполне сходный удачный результат; сходные же наблюдения я получил и в том случае, когда я применял твердый цилиндр, отлитый из серы, либо вместо трубки C, либо вместо AB. Правда, как видно из сказанного, опыт удался, будучи проведен не совсем по тому плану, при котором он, как я сперва надеялся, мог дать удачный результат; тем не менее, из приведенного выше описания моих опытов в достаточной мере ясно, насколько мои рассуждения согласуются с опытом, и не может быть сомнения в том, что причиной, помешавшей мне получить желанный результат только при помощи поднесения трубки C к концу A, являлось лишь то, что действие, производимое трубкой C при этих обстоятельствах, было весьма слабым.

203. Изложенные выше рассуждения, вследствие сходства теории магнетизма с теорией электричества, могут быть перенесены и на магнетизм, однако же только те из них, которые относятся к случаю, когда переход электрической жидкости из одного тела в другое так или иначе встречает сопротивление. Действительно, поскольку магнитная жидкость в порах тел, сходных с железом, движется лишь с очень большим трудом, то не следует ожидать какого-либо ощутимого перехода магнитной жидкости из магнита в железо или наоборот, даже если магнит прикоснется к железу, как этого трудно ожидать, когда друг к другу прикасаются тела, электрические по своей природе. Таким образом, передача магнетизма, которая происходит, когда магнит подносится к продолговатому железу с одного из его концов, сводится к следующим правилам.

1) Если железо B (фиг. XLI) поднести к полюсу магнита A, независимо от того, будет ли это северный или южный полюс, либо на близкое расстояние, либо до полного соприкосновения, то конец C, обращенный к магниту, во всех

случаях получит магнетизм, обратный тому, которым обладает полюс *A*, т. е. северный, если тот южный, и южный, если тот северный.

2) Если же передвинуться по направлению к полюсу *D*, то раньше или позже мы дойдем до места, в котором тело обладает тем же магнетизмом, каким обладает полюс *A* (§§ 148 и 154).

3) Если прут *B* будет сравнительно длинным (фиг. XLII), то иногда случается, что за той частью, которая имеет тот же магнетизм, что и полюс *A*, следует часть, наделенная противоположным магнетизмом, а затем снова часть, имеющая тот же магнетизм, затем часть, опять имеющая противоположный магнетизм, и т. д. Сила этих противоположных друг другу полюсов, чередующихся между собой, оказывается тем меньшей, чем более они отстоят от конца *C*, а число таких следующих друг за другом точек, не говоря уже о других обстоятельствах, в значительной мере зависит от длины прута, так что обычно их больше в более длинном пруте и меньше в более коротком (§§ 200 и 201).

204.[50] Поскольку общеизвестно, что эти правила, выведенные из теории, вполне согласуются с данными опыта, нет нужды приводить специальные опыты, доказывающие это совпадение. Поэтому мы предпочитаем перейти к более подробному рассмотрению некоторых отдельных явлений. Прежде всего ясно само по себе, что магнетизм, приобретаемый телом *B*, будет тем слабее, чем тверже то железо, из которого он состоит, но с другой стороны столь же легко можно заметить, что магнетизм будет тем более стойким, чем более твердой стали или железу он передан. Что касается этого, то можно считать общим вполне установленным правилом, что передать посредством притяжения и отталкивания железному предмету магнитную силу, исходящую из другого магнита, тем труднее, чем тверже железо; зато получившийся в нем магнетизм будет отличаться и тем большей стойкостью; это ясно из сказанного в § 150, в силу

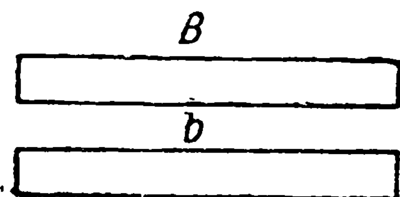
чего мы можем принять изложенное как общее правило, многократно подтвержденное (как это прекрасно известно) и данными опыта. Чтобы отчетливо представить себе, чтó отсюда следует, мы разберем отдельно различные случаи, которые могут иметь место. Но для этого необходимо, чтобы читатели вспомнили о том, чтó мы сказали выше о степени насыщения магнитной силой. Этим термином мы обозначили ту степень магнитной силы, которая может в течение значительного времени оставаться без ощутимого изменения в намагниченном теле, предоставленном самому себе; если же магнитная сила этого тела будет увеличена сверх этой степени, то тело быстро теряет этот избыток.[51] Мы доказали, что эта степень насыщения зависит от того сопротивления, которое встречает магнитная жидкость при продвижении по порам намагниченного тела, так что она всегда больше в более твердых телах и меньше — в более мягких.

204a. Если к магниту *A* (фиг. XLI) поднести тело *B*, то действующая в магните *A* сила отталкивания или притяжения, благодаря которой он возбуждает в теле магнетизм, либо находится в таком соотношении с сопротивлением, которое жидкость встречает при продвижении по порам тела *B*, что магнетизм, который производит в теле *B* магнит *A*, превосходит наибольшую его степень в теле *B*, т. е. ту степень, которая соответствует точке насыщения, либо эта сила равна этой степени, либо оказывается меньше ее. В первом случае немедленно после того, как магнит *A* убран, тело *B* сразу же теряет избыток магнитной силы сверх степени насыщения: в других двух случаях оно сохраняет в неприкосновенности ту степень магнетизма, которую она получает от магнита.

205. Поэтому, если к магниту *A* последовательно поднести два подобных друг другу тела, *B* и *b* (фиг. XLIV), из которых первое состоит из более мягкого, а второе из более твердого железа, то, как правило, магнит вызывает

в первом теле больший, а во втором меньший магнетизм; однако если затем рассмотреть эти тела, после того как они будут отделены от магнита, то можно обнаружить различные результаты, заключающие в себе нечто парадоксальное и неожиданное. Действительно,

α) либо магнит *A* настолько силен, что он вызывает не только в теле *B*, но и в теле *b* степень магнетизма, которая выше, чем степень насыщения. В этом случае и то и другое тело, будучи удалено от магнита, немедленно теряет свою степень магнетизма, поскольку она выше насыщения. Но так как в теле *b*, как в более твердом, степень насыщения больше, чем в теле *B*, то окажется, что *b* приобрело более сильный магнетизм, чем тело *B*;



Фиг. XLIV.

β) либо магнит *A* настолько слаб, что степень магнетизма, которую магнетизм вызывает в обоих телах, меньше степени насыщения. В этом случае и то и другое тело сохраняют неприкосновенным после удаления магнита *A* тот магнетизм, который они получили от него. Но так как магнит вызовет в более твердом теле *b* меньшую степень магнетизма, чем в более мягком *B*, то и после удаления магнита тело *b* будет магнитным в меньшей степени, чем тело *B*;

γ) если, наконец соотношение между силой магнита и сопротивлением, которое встречает жидкость при продвижении по порам тел *B* и *b*, взято таким, что магнит вызывает в первом теле степень магнитной силы, либо бо́льшую, чем максимальная, либо равную ей, а во втором — меньшую, чем максимальная, то первое тело теряет по удалении магнита избыток сверх степени насыщения, а второе сохраняет весь тот магнетизм, который оно получило; поэтому в зависимости от различной степени твердости тел *B* и *b* может оказаться, что по удалении магнита то тело *B*, то *b* получает бо́льшую степень магнетизма; но может также оказаться, что силы тел *B* и *b* окажутся равными друг другу.

206. В тех случаях, когда степень насыщения будет такой, больше которой тело удержать не в состоянии, мы напрасно будем увеличивать количество магнетизма сверх этой меры, так как тело скоро снова утратит тот излишек, который оно приобрело сверх этой степени. Итак, если более слабый магнит будет обладать достаточной силой, чтобы вызвать в теле *B* степень магнетизма, равную степени насыщения, а затем он будет заменятся более сильным магнитом, то это не даст никакой выгоды, и тело *B* не получит большего количества магнетизма от более сильного магнита, чем от более слабого. Если же, наоборот, магнит *A* не будет в состоянии вызвать степень магнетизма, соответствующую точке насыщения, то в этом случае при замене его другим более благородным магнитом[52] получится значительное увеличение сил тела *B*.

207. Описанные в предыдущих параграфах явления приходилось нередко наблюдать каждому, кто занимался постановкой опытов с магнетизмом; поэтому мы не только хорошо знаем, что в этих случаях данные опыта согласуются с теорией, но нам также легко понять из § 205, в чем причина того, что бóльшая часть авторов высказывала столь противоречивые суждения о степени магнитной силы, которой могут обладать железные предметы различной твердости: одни говорили, что для получения значительной степени магнитной силы является подходящей особенно твердая сталь, другие — что более мягкая. Заметим далее, что сказанное здесь верно также вообще и для других способов намагничивания железных предметов, которые будут вскоре описаны, а не только для того способа, который мы рассматривали выше. Но прежде, чем мы перейдем к описанию этих способов, мы займемся разрешением нескольких, относящихся сюда, вопросов. Как мы уже выше отметили (§ 203), при применении исследуемого нами метода намагничивания железа, может получиться так, что тело *B* будет обладать последовательными точками. Нетрудно понять, что чем тверже тело *B*, тем бóльшую склонность к образованию такого

рода последовательных точек оно обнаруживает при применении рассмотренного выше способа намагничивания его. Действительно, поскольку в твердой стали магнитная жидкость встречает при своем продвижении большее сопротивление, чем в более мягкой, вполне очевидно, что в том случае, когда, напр., A (фиг. XLII) — положительный полюс магнита, он произведет такое действие, что конец C тела B станет отрицательно-магнитным; часть же CE, из которой он удаляет жидкость, будет более короткой, если тело B будет состоять из твердого железа, чем если оно будет состоять из более мягкого. Ведь само собою разумеется следующее: если, напр., силы магнита достаточно для того, чтобы передвинуть частицу жидкости, находящуюся в n, далее вперед, когда железо, в котором она находится, достаточно мягко, то этой же силы может оказаться недостаточно для того, чтобы произвести такое же действие, если с возрастанием твердости возрастет и сопротивление движению жидкости. Поэтому вполне может случиться, что магнит, который в более мягком железе удаляет жидкость из части CE его длины, в более твердом железе окажется в состоянии удалить жидкость не из всей этой части, но только из части Cn. Но поскольку в более твердом теле жидкость будет выгнана только из более короткой части, то и следующая за ней часть EF, наполненная жидкостью, будет короче; как нетрудно видеть, этот способ рассуждения можно сходным же образом распространить и на дальнейшие части FG и GH. Точно так же, если возьмем обратный случай и примем, что A — отрицательный полюс применяемого нами магнита, то без труда можно понять, что и в этом случае будут иметь место такие же явления. Итак, ясно, что при прочих равных условиях прут достаточной длины из более твердого железа получит большее число последовательных точек, чем другой подобный же прут, но состоящий из более мягкого железа. Но эта особенность более твердых тел, состоящая в том, что они обнаруживают бóльшую склонность к получению

последовательных точек, чем более мягкие, будет проявляться только при применении описанного здесь способа намагничивания. Действительно, я вскоре покажу, что при применении других способов, бо́льшую склонность к получению последовательных точек обнаруживают более мягкие тела, чем более твердые.

208. Уже очень давно физики сделали наблюдение, что при таком способе передачи магнетизма, который мы рассматриваем здесь, магнит, даже после того как он сделал магнитными бесчисленное количество железных предметов, совершенно не теряет своих сил; они очень этому удивлялись, так как это явление противоречит другим аналогичным делам природы. И на этом явлении мы в состоянии еще раз показать то, что мы уже много раз показывали: что при помощи нашей теории такие явления, которые на первый взгляд совершенно противоречат обычному порядку в природе, мы можем привести к полному согласию с нею. Действительно, если магнит *A* (фиг. XLI) передает магнетизм телу *B* и, отталкивая или притягивая магнитную жидкость, находящуюся в *B*, производит такое действие, что конец *C* получает магнетизм, противоположный магнетизму полюса *A*, а *D* — тот же магнетизм, что и в этом полюсе, то нет никакой причины, вследствие которой сила магнита могла бы уменьшиться; наоборот, если уже произойдет какое-либо изменение в его силе, то оно должно состоять, скорее, в увеличении ее, чем в его уменьшении. Действительно, очевидно, сила магнита *A* может уменьшиться только в следующих случаях: либо в том случае, если магнитная жидкость перейдет из него в тело *B*; либо в том случае, если она, наоборот, перейдет из тела *B* в магнит *A*, либо, наконец, в том случае, если жидкость в магните *A* испытает действие, вынуждающее ее распределиться более равномерно по магниту и перейти из той его части, в которой имеется избыток жидкости, в другую часть, в которой его недостаток. Первой и второй возможности, как известно (даже в том случае, если магнит коснется тела B), препят-

ствует сопротивление, которое встречает магнитная жидкость при прохождении через поры железа. Совершенно же невозможно предположить, чтобы произошло последнее; скорее можно было бы утверждать, что будет иметь место обратное: если, напр., A будет положительным полюсом магнита, то из части CB тела B, обращенной к магниту, будет удаляться жидкость. Поэтому, эта часть будет притягивать к себе магнитную жидкость, побуждая ее накопляться в большей степени, чем до этого, у конца A и удаляться из остальной части магнита, а следовательно, она стремится к увеличению силы магнита, а не к ее уменьшению. Само собой разумеется, что то же будет иметь место и в другом случае, когда A — отрицательный полюс магнита. Содержащиеся здесь рассуждения будет очень легко применить и для тех способов намагничивания, которые мы изложим в дальнейшем; и они таковы, что по причинам, сходным с вышеизложенными, не могут нанести ущерба силам магнитов, применяемых для передачи магнитной силы.

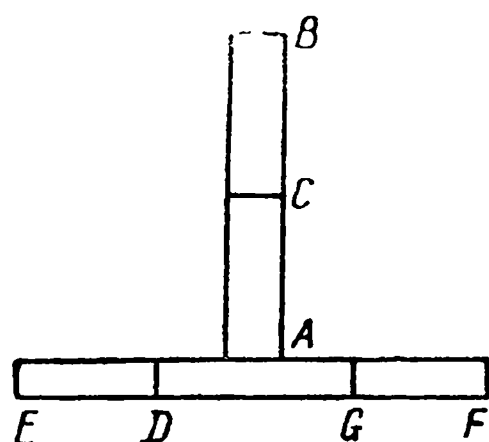
209. Сюда же относится и удачно объясняется из примененных здесь основных положений замечательное явление, состоящее в том, что силы магнита оттого, что к нему прикладывается железо, правда, медленно, но, тем не менее, значительно увеличиваются; причина этого непосредственно ясна из изложенного выше. В самом деле, тело B, приложенное к магниту A, само становится магнитом и, как только что показано, само стремится к усилению магнита; эта сила, хотя сама по себе обычно не очень велика, но по истечении значительного промежутка времени, сможет дать ощутительный результат. Это объясняет также и другое явление, достаточно известное тем, которые ставят опыты с магнетизмом. Привесим к магниту железный груз — наибольший из тех, который он может поднять, — и будем его путем прибавления подвешиваемых один за другим сравнительно малых грузов, понемногу все увеличивать и увеличивать, окажется, что через несколько недель или месяцев магнит

будет поднимать значительно больший груз, чем он поднимал вначале. Затем снимем с магнита этот подвешенный к нему груз, а затем сразу же снова подвесим; мы заметим, что магнит уже не в состоянии удерживать груз, который он поднимал за короткое время до этого; добиться, чтобы при вторичном подвешивании того же груза магнит удерживал его, можно только тем путем, что снимают некоторую часть его, а затем постепенно понемногу снова ее прибавляют. Таким способом через некоторое время магнит снова оказывается в состоянии поднимать тот же груз, что и прежде.

210. Если мы подвергнем рассмотрению вопрос, что произойдет с магнитом и с подвешенным к нему железом, если они останутся соединенными в течение более продолжительного времени, то из изложенного выше ясно, что в том случае, если, напр., полюс A — положительный, то часть CB соединенного с ним железа станет отрицательно-магнитной; этот результат будет тем бо́льшим, чем дольше железо остается соединенным с магнитом. Таким же образом под воздействием тела B, которое само становится магнитом, и магнит A постепенно и понемногу становится все более сильным, в результате непрерывного притягивания, которое производит железо B на магнитную материю, заключенную в магните A; это притяжение постоянно побуждает жидкость приближаться к концу A. Если теперь железо будет удалено с магнита, то не только железо, если оно мягкое (какими обычно бывают грузы, подвешиваемые к магниту), теряет тот магнетизм, который оно приобрело — либо весь, либо, по крайней мере, бо́льшую его часть, но иногда и сам магнит, если вследствие длительного воздействия железа B он стал магнитным выше степени насыщения (что вполне возможно), теряет некоторое количество своих сил. Если теперь груз B снова будет соединен с магнитом A, то он не может в несколько мгновений снова приобрести всю ту степень магнетизма, которую он до этого приобрел.

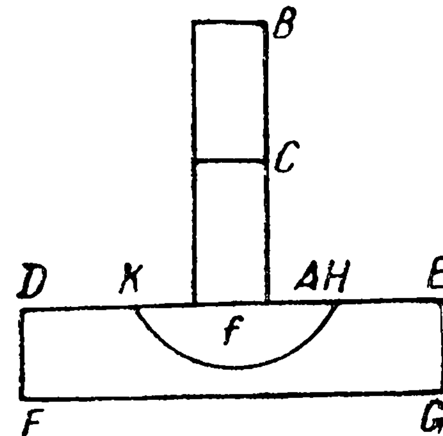
в течение многих недель или месяцев; поэтому он должен вначале притягиваться с не столь большой силой, как прежде, но с несколько меньшей. Если далее случится последнее из того, что мы сказали — именно, если сам магнит после отделения от него железа потеряет некоторую часть своих сил, то и это будет одной из причин того, что он вначале будет притягивать железо с несколько меньшей силой, чем до этого, до тех пор, пока через некоторое время он не получит снова прежнюю степень своей силы.[53]

211. Продолговатый и тонкий кусок железа EF (фиг. XLV), напр. кусок довольно тонкой железной проволоки, пусть в своей середине соприкасается с любым из полюсов магнита, скажем, сперва с положительным A. Тогда этот полюс действует на жидкость, содержащуюся в проволоке, отталкивая ее. Следовательно, жидкость, находящаяся близ середины проволоки, на участке DG, под действием отталкивания принуждена будет покинуть район середины проволоки и переместится к концам проволоки,—частью к E, частью к F. Итак, очевидно, что проволока EF окажется в средней части DG отрицательно-магнитной, а на некотором расстоянии от середины, напр. на участках DE и GF, положительно-магнитной. Не менее очевидно, что в том случае, если проволока будет значительной длины, может случиться, что либо в направлении к E, либо в направлении к F получится ряд последовательных точек. Без труда можно понять, что таким же должен быть результат, если полюс магнита, прикасающийся к середине проволоки, будет отрицательным, с той лишь разницей, что в этом последнем случае середина проволоки DG, к которой прикасается магнит, окажется положительно-магнитной, а ее концы DE и GF — отрицательно-магнитными, т. е. порядок будет противоположным тому, который был в предшествующем случае.



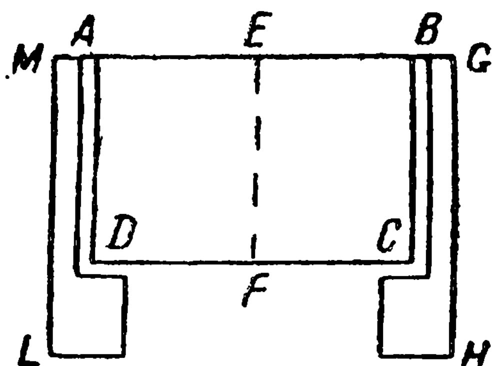
Фиг. XLV.

212. Как показывают данные опыта, сказанное здесь имеет место в действительности, но при этом надо иметь в виду только тот случай, когда проволока или кусок железа, применяющиеся для опыта, берутся тонкие, не слишком толстые. Действительно, если железо имеет значительную толщину и к ее средине, около *HK* (фиг. XLVI) мы приблизим положительный полюс *A* магнита, то магнитная материя, уступая производимому на нее отталкиванию и находя в сравнительно толстом железе достаточно места, куда она может удалиться, хотя и переходит по направлению к краям *D* и *E*, но частично переходит также по направлению к поверхности железа *FG*, противоположной магниту, так что пространство *HIK*[54] окажется опорожненным от жидкости, а *DFGEHIKD* — наполненным жидкостью. Точно так же если к середине будет поднесен отрицательный полюс магнита, то магнитная материя, притекая по всем направлениям к полюсу, оставит опорожненным пространство *DFGEHIKD* и накопится в полусферическом пространстве *HIK*.



Фиг. XLVI.

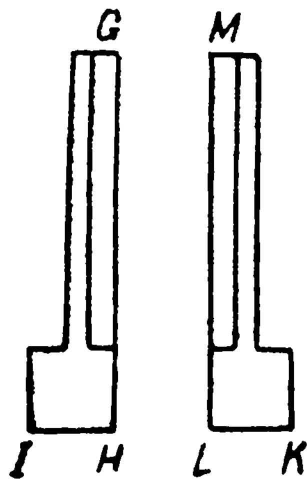
213. На основании сказанного можно понять причину весьма замечательных явлений, которые происходят, когда к магниту искусственному или естественному обычным способом присоединяется ярмо. Пусть к магниту *ABCD* (фиг. XLVII), положительный полюс которого *BCEF*, а отрицательный *ADEF*, будет приложено железо *GHI*[55] такой формы, какая обозначена на чертеже; представим себе, что такое железо будет сперва поднесено к положительному полюсу *BCEF*. Ясно, что вследствие отталкивания, производимого полюсом *BCEF*, магнитная материя, находящаяся в части *GH* ярма, должна, по крайней мере в значительной части, переме-



Фиг. XLVII.

ститься в *HI*, так что ножка *HI* окажется положительно-магнитной. Если же такой же железный предмет *MLK* будет соединен с отрицательным полюсом *ADEF*, то ножка *LK* окажется отрицательно-магнитной, и магнитная материя удалится из нее в другую часть *ML*. Поэтому обе ножки ярма *HI* и *LK*, окажутся магнитными. В связи с различными условиями опыта, рассмотреть которые в подробностях будет весьма полезно, эта сила сможет быть то большей, то меньшей.

214. Без труда можно видеть, что в том случае, когда хотят передать ножке *HI* или ножке *LK* максимальную силу, которую она способна воспринять, каждая часть ярма *GH* или *ML* (я их буду в дальнейшем называть *крыльями ярма*) должна быть в толщину не больше и не меньше надлежащего размера. В самом деле, если она будет толще, чем нужно, то магнитная материя, отталкиваемая магнитом, не вся перейдет на ножку *HI* (фиг. XLVIII), но частично останется близ *GH*, и поэтому ножка окажется в этом случае не в такой степени магнитной, как если бы в нее перешел весь магнетизм.



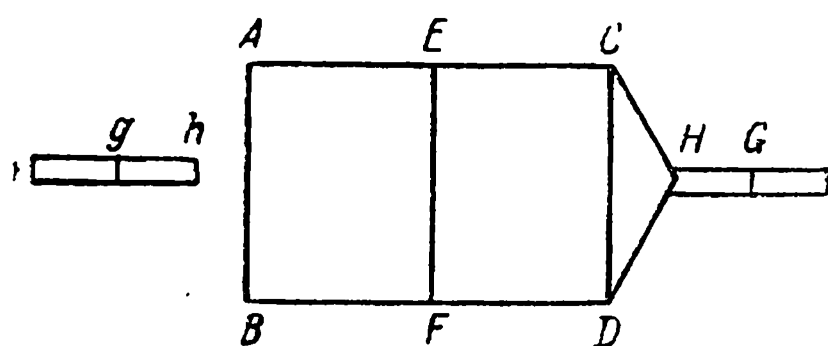
Фиг. XLVIII.

Итак толщина крыла должна быть не больше такой, при которой вся магнитная материя, перегнанная из крыла, могла бы перейти из крыла в ножку. Но крыло не должно быть также сделано тоньше надлежащего размера. Действительно, хотя в этом случае вся перегнанная магнитная материя перейдет в ножку, но если мы после этого представим себе, что толщина крыла увеличилась, то силы полюса будет достаточно для того, чтобы и ту магнитную материю, которая находится в добавленной части, перегнать в ножку и чтобы сделать ее еще в большей степени магнитной. Поэтому надлежащей и наиболее подходящей будет толщина крыла, являющаяся наибольшей из всех тех, при которых не будет никакого накопления магнитной жидкости около *GH*.

215. Все сказанное приложимо и к ярму *MLK*, присоединенному к отрицательному полюсу *ADEF*. Действительно, если его крыло *ML* будет слишком толстым, то не все оно окажется положительно-магнитным, но некоторое количество жидкости с поверхности *ML* перейдет на противоположную, оставив поверхность *ML* порожней. Но так как в таком случае жидкость, которая накопится в крыле, поступит для наполнения крыла из другого места, а не из ножки *LK*, то ножка опорожнится и станет магнитной не в той степени, как в противоположном случае. Если же мы представим себе, что толщина крыла понемногу уменьшается, то, наконец, она дойдет до такого размера, когда все крыло станет положительно-магнитным, и это будет та толщина, при которой оно передает ножке наибольшую силу. Если же крыло будет сделано еще более тонким, то в него не сможет перейти из ножки такое количество жидкости, которое переходит, если ярмо имеет более толстое крыло.

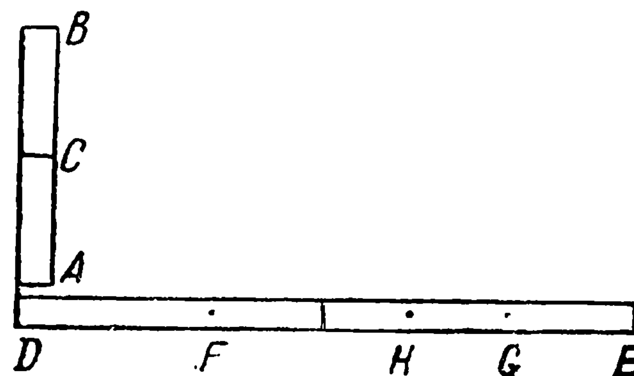
216. Далее, если ярмо будет состоять из довольно мягкого железа, то его ножка, в силу более легкого проникновения жидкости, окажется в большей степени магнитной, чем если бы применялась твердая сталь, которую некоторые ошибочно рекомендуют. По той же причине, в том случае, если ярмо сооружается из мягкого железа, и крылья также подходят более толстые, чем если оно сооружается из твердого железа; следовательно, и по этой причине в первом случае ножка приобретает бóльшую силу, чем во втором. Итак, если ярмо, соединенное с магнитом, будет построено так, что крылья будут иметь должную, указанную выше толщину и, кроме того, для его сооружения будет применено самое мягкое железо, которое только можно достать, то ножки ярма получат значительную магнитную силу. Все это подтверждается целым рядом опытов, которые уже давно показали, что крылья ярма не должны быть сделаны ни тоньше, ни толще надлежащего размера и что все ярмо надо соорудить из мягкого железа, если желают придать ножкам значительную магнитную силу.

217. Такого рода ярмо, соединенное с магнитом, не только сохраняет силы магнита, к которому оно приложено, но и понемногу увеличивает их, правда, медленно, но тем не менее в значительной мере. Причина такого результата очевидна из сказанного выше (§ 209). В самом деле, крыло ярма *GH*, соединенное с положительным полюсом (фиг. XLVII), становится отрицательно-магнитным, а крыло *ML*, приложенное к отрицательному полюсу, становится положительно-магнитным. Поэтому оба крыла стремятся к тому, чтобы перегнать все большее и большее количество магнитной жидкости из части *ADEF* в часть *BCEF*. Но наиболее замечательное явление, наблюдаемое относительно действия ярма, соединенного с магнитом, состоит в том, что, как оказалось, магнит, снабженный надлежащим ярмом, был в состоянии поднимать значительно бо́льшую тяжесть, чем не имеющий такого ярма. Общие причины этого явления легко понять из теории, откуда ясно также, что здесь надо считаться с различными обстоятельствами. Сперва представим себе, что к магниту *ABCD* (фиг. XLIX), не снабженному ярмом и имеющему форму параллелепипеда, поднесено железо *G*; уже с первого взгляда видно, что бо́льшая часть полюса *CD*, лежащая по сторонам от *G*, будет действовать на тело *G* лишь весьма наискось и находиться от него на значительном расстоянии; ясно само по себе, что и первое и второе будет значительно ослаблять действие магнита на железо *G*. Если же к этому самому магниту будет присоединено ярмо, то вся сила полюса *CD* как бы соберется в ножке ярма, которая вследствие узкой формы, которую она имеет, действует на поднесенный к нему железный предмет в более прямом направлении и с меньшего расстояния, а поэтому может действовать с большей силой,



Фиг. XLIX.

чем сам магнит. Затем из тех рассуждений и опытов, которые приведены в §§ 162 и сл., ясно, что в том случае, когда железо *G* подносят к магниту, не имеющему ярма, полюс *AEBF*, обладающий магнетизмом, обратным магнетизму полюса *CDEF*, значительно ослабляет действие, производимое полюсом *CDEF* на железо *G*, особенно если магнит *ABCD* сравнительно небольшой длины; однако не так уж трудно понять, что такое ослабление будет иметь место, если к магниту будет присоединено ярмо, или во всяком случае оно не будет столь значительным. Значит, и по этой причине ножка ярма может производить большее действие, чем сам магнитный полюс.



Фиг. L.

218. До сих пор мы рассматривали тот способ намагничивания, который осуществляется путем соприкосновения железа с магнитом или же только путем приложения к нему. Но так как важно было, чтобы магнитным стрелкам передавалась большая сила, то физики проделали различные опыты и нашли различные способы, пригодные для того, чтобы передать железным предметам магнитную силу. Стоит труда изложить их здесь, так как это важно для нашей теории. Натрем продолговатый железный предмет *DE* (фиг. L), напр. кусок железной проволоки, одним из полюсов *A* магнита, проводя этот полюс по всей длине прута *DE* от *D* к *E*, и повторим эту процедуру несколько раз. Тогда окажется, что конец *E*, на котором прекратилось натирание магнитом, приобрел магнетизм, обратный магнетизму полюса *B*, а конец *D*, с которого натирание началось, тот же магнетизм, что́ и полюс. Если мы обратимся к нашей теории, то без труда заметим, что должно было произойти именно то, что́ происходит в опыте. В самом деле, как только полюс *A* прикладывается к концу *D*, он передает ему магнетизм,

обратный тому, которым он сам обладает; когда же затем им проводят от конца *D* по направлению к *E* через точки *F*, *G*, *H* и т. д., то он последовательно передает этим точкам магнетизм, противоположный своему; однако при этом он лишает конец *D* того магнетизма, который он передал этому концу вначале, и передает ему противоположный. Но так как магнит достигает конца *E* лишь в конце, то *E* сохраняет магнетизм, который ему передал магнит.

219. Чтобы это стало более ясным, рассмотрим, какие при этом могут иметь место различные случаи, и разберем каждый из них отдельно. Примем сперва, что для опыта взят положительный полюс магнита; очевидно, что в то время, когда магнит соединяется с концом *D*, он побуждает магнитную материю оставить этот конец и перейти в более отдаленные части, напр. в *F*; поэтому теперь конец *D* становится отрицательно-магнитным. Когда мы затем проводим магнитный полюс до точки *F*, он опять прогоняет из этой точки магнитную жидкость, накопившуюся здесь; поэтому железный прут в этом месте опорожняется от жидкости, но по обе стороны от этой точки, по направлению и к *D* и к *H*, наполняется жидкостью. Значит, после того как магнит приходит в точку *F*, он снова уничтожает результаты своего прежнего действия и делает точку *D* положительно-магнитной (§ 211). То же самое происходит по всей длине железного прута, исключая лишь конец *E*, которого магнит касается в самом конце. Действительно, ясно, что он уже не может уничтожить отрицательный магнетизм, переданный этому концу, и передать ему обратный; поэтому этот конец сохраняет отрицательный магнетизм. Если бы полюс, применяемый в этом опыте, был отрицательным, то он, притягивая жидкость к концу *D*, сначала делал бы его положительно-магнитным, а дальнейшие части отрицательно-магнитными, но затем, совершенно так же, как в предыдущем случае, будучи проведен вдоль прута, уничтожал бы произведенное им действие и передавал бы концу *D* отрицательный магнетизм,

а концу E, которого он касается напоследок, положительный.

220. Итак, от этого способа намагничивания вряд ли можно ожидать большего, чем может дать простое соприкосновение конца E с магнитом; это подтверждается и опытом. Так как этот способ часто применяется для намагничивания магнитных стрелок, т. е. инструментов, столь полезных в общежитии, что нельзя считать излишним никакие старания для их усовершенствования, то необходимо еще обратить внимание и на другой недостаток, свойственный этому способу: при таком способе стрелка легко получает последовательные точки. Это не только блестяще подтверждается опытом, но, как ясно из изложенного выше (§§ 203, 200, 291), и из теории также следует, что так оно и должно быть. Этот способ намагничивания вряд ли чем-либо отличается от рассмотренного выше, состоящего в одном только приведении конца E в соприкосновение с магнитом, так как весь тот результат, который производит магнит при проведении его вдоль железного прута, снова уничтожается, и остается лишь то, что получается при прикосновении его к концу E.

221. Физики отметили один из результатов этого способа намагничивания, о котором я не могу умолчать: он и сам по себе весьма замечателен, и к тому же мы не вправе пренебречь им ввиду того, что он прекрасно согласуется с нашей теорией. Представим себе железный прут DE, который сделан магнитным при помощи благородного магнита путем натирания его от D к E. Затем возьмем другой магнит, более слабый, и снова натрем прут полюсом этого магнита, одноименным с первым, и в том же направлении, что́ и в первый раз. Мы заметим, что магнитная сила прута DE не только не увеличилась и не осталась неизменной, как можно было бы ожидать, но, наоборот, значительно уменьшилась и стала точно такой, какую мог бы передать более слабый из магнитов пруту, если бы к нему никогда

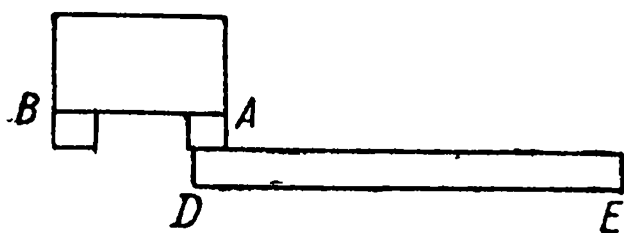
не прикасался более сильный магнит. Точнейшие наблюдения знаменитейшего Мушенбрёка, относящиеся к этому явлению, можно найти в его Заметках к Опытам Флорентийской академии Опыта, ч. II, стр. 80.[56]

222. Этот опыт так прекрасно согласуется с нашей теорией, что лучшего совпадения нельзя и требовать. Чтобы это стало ясно, представим себе, что прут DE получил от положительного полюса более сильного из магнитов такой магнетизм, что конец D стал положительно-магнитным, а конец E отрицательно-магнитным. Теперь будем натирать железный прут опять положительным полюсом более слабого магнита; очевидно, что он стремится сделать этот конец отрицательно-магнитным и уничтожить результат, получившийся от действия первого магнита, не только в то время, когда он приложен к концу D, но то же самое будет иметь место также и непрерывно в течение всего времени, когда он проводится от конца D к E, — даже и тогда, когда он будет уже очень мало отстоять от конца E, напр., когда он придет к точке G, — он будет стремится передать этому концу магнетизм, противоположный тому, который он получил от более сильного магнита, именно — положительный. Совершенно сходный результат будет и в том случае, если для опыта будут применены отрицательные полюсы магнитов; поэтому ясно и вообще, что действие более слабого магнита состоит в том, что он сначала разрушает результат действия более сильного магнита, а затем сам заново передает полосе новый магнетизм. Однако это явление наблюдается только в том случае, если прут натирается более слабым магнитом, и оно никогда не происходит, если более слабый магнит только прикасается к концу E и прут не натирается магнитом вдоль всей его длины. Действительно, в этом случае более слабый магнит отнюдь не стремится уничтожить действие более сильного, но скорее стремится к его усилению, как блестяще показывают не только теория, но и данные опыта.

223. Эти мои предложения нельзя принять без оговорок; действительно, как я полагаю, есть случаи, когда магнетизм, переданный пруту более сильным магнитом, не ослабляется, но, наоборот, усиливается при натирании его более слабым магнитом. Для того, чтобы понять это надлежащим образом, представим себе сперва, что прут DE, намагниченный более сильным магнитом, натирается не намагниченным мягким железом AB. Если в этом случае конец прута D будет положительным полюсом, то конец A железа AB, как только он прикоснется к концу D, станет отрицательно-магнитным, и поэтому он стремится к усилению положительного магнетизма точки D. Сходным образом, после проведения железа AB вдоль прута, к концу E, который наделен отрицательным магнетизмом, конец железа A становится сразу же положительно-магнитным, и поэтому также стремится к увеличению магнетизма конца E. Итак, если прут DE очень часто и в течение продолжительного времени натирается не намагниченным мягким железом, то магнитная сила прута может вследствие этого в конце концов значительно увеличиться.

224. Если вместо мягкого железа будет взят магнит, состоящий из не очень твердого железа, и если прут DE очень твердый и обладает большой магнитной силой, то может произойти следующее: в то время как этот магнит касается положительно-магнитного конца D своим положительным полюсом A, этот конец под действием прута получает противоположный магнетизм, именно — отрицательный. Из сказанного выше с полной ясностью следует, что это действительно может произойти. По той же причине этот же магнит, передвинутый затем к концу E, сможет снова получить положительный магнетизм. Итак, здесь получается то же самое, как если бы натирание производить не намагниченным мягким железом; стало быть и следствие этой операции должно быть совершенно таким же, — именно не ослабление, а увеличение магнитных сил прута, если операция будет достаточно длительной.

225. От только что описанного способа намагничивания почти не отличается по своим результатам другой, который также иногда применяется. Обычно берется магнит или естественный с ярмом, или искусственный, изогнутый в форме лошадиной подковы; его полюс A (фиг. LI) подносится к концу D, а затем магнит проводится вдоль всей длины прута, так чтобы полюс A находился впереди, а полюс B позади и чтобы он после всего коснулся конца E; эта процедура повторяется несколько раз. Обычно этот способ дает тот же результат, что и предыдущий. А именно, конец E получает магнетизм, обратный тому, которым обладает полюс B, коснувшийся его после всего; конец же D приобретает тот же магнетизм, что и этот полюс, за исключением того случая, когда прут настолько длинный, что получаются последовательные точки.

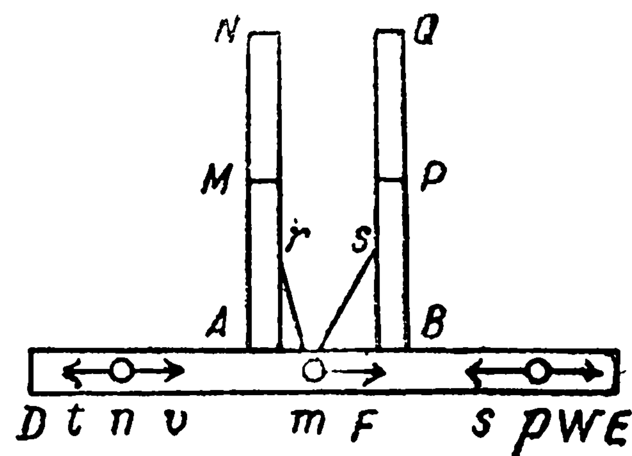


Фиг. LI.

226. Ясно с первого же взгляда, что продвигающийся позади полюс B уничтожает все то действие, которое производит движущийся впереди полюс A. Отсюда очевидно, что результат должен быть совершенно такой же, как если бы прут DE был натерт только полюсом B. В самом деле, так как полюс B проходит через все те точки, которых касался и A, он по необходимости, поскольку он обладает противоположными силами, опорожняет те места, которые были наполнены магнитной жидкостью в результате деятельности полюса A, и наполняет те, которые были полюсом A опорожнены. Итак, можно без труда вынести приговор этому способу намагничивания: ведь к этому способу относится все то, что мы сказали о способе, рассмотренном выше. Наконец, здесь еще необходимо обратить внимание на то, что в том случае, когда будет употреблен или этот, или описанный выше способ намагничивания, но затем прут будет натерт, хотя и сходным образом, но в обратном направлении, то весь получившийся до этого магнетизм будет уничтожен,

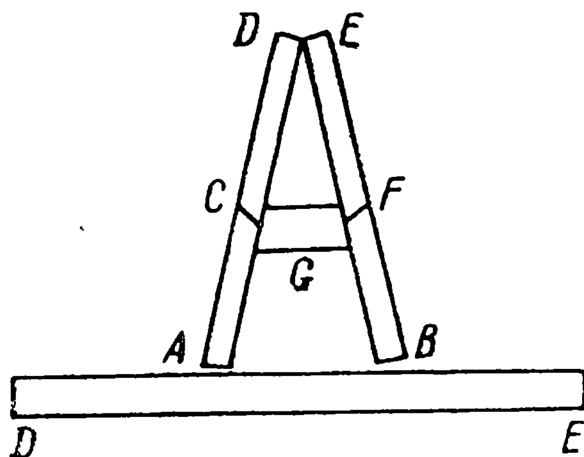
и пруту будет передано обратное состояние: а именно, конец D получит тот магнетизм, который в первом случае имел E, и наоборот, как это вытекает из теории настолько очевидно, что не нуждается в каком-либо дальнейшем изложении.

227. Хотя, кроме этих, существуют и другие способы намагничивания, которые иногда также применяются, но отдельно я не буду ничего о них говорить, так как читатели смогут сами судить о них на основании изложенного выше. Однако остался не упомянутым еще один способ, который заслуживает более тщательного исследования, так как с его помощью можно получить много более сильный магнетизм, чем при помощи других; поэтому его и следует применять для изготовления искусственных магнитов и для увеличения чувствительности магнитных стрелок. Это — тот способ, который своим изобретателем Майчеллем был назван способом двойного прикосновения; он осуществляется следующим образом. Примерно на середину железного прута DE (фиг. LII) ставятся два противоположных магнитных полюса, а именно, положительный A и отрицательный B, так что между ними остается небольшое расстояние, и затем они с сохранением того же расстояния между собой движутся по пруту DE поочередно то вперед, то назад, с соблюдением лишь того правила, чтобы расстояние между полюсами всегда оставалось одним и тем же и чтобы ни один из них ни разу не выдвигался за конец прута. Так, напр., как только полюс A достигает конца D, тотчас же оба полюса начинают двигать назад, и они движутся в обратном направлении до тех пор, пока полюс B не достигнет конца E; затем снова движут полюсы в обратном направлении. После того, как мы проделаем это несколько раз, мы возвращаем полюсы в то положение, которое они имели в начале процедуры, т. е.



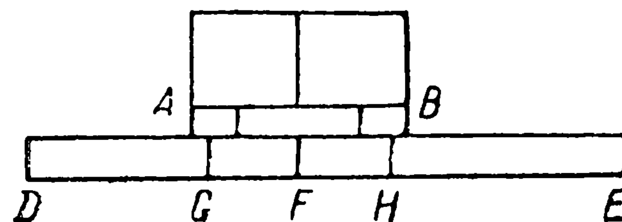
Фиг. LII.

у середины F прута, а затем удаляем полюсы, подняв их по линии, перпендикулярной к пруту DE. Тогда окажется, что прут стал сильно магнитным и что одна его половина FE имеет такого же рода магнетизм, как полюс A, а другая половина FD — как другой полюс B; исключением является только тот случай, когда прут окажется слишком длинным и вследствие этого получит последующие точки. Этого случая я здесь не касаюсь, так как я буду говорить о нем ниже.



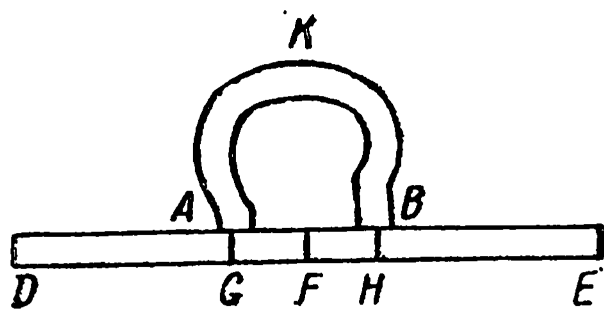
Фиг. LIII.

228. Опыт, рассмотренный



Фиг. LIV.

в предыдущем параграфе, может быть осуществлен различными способами. В самом деле, если у нас под руками имеются искусственные магниты, имеющие форму параллелепипедов, AD и BE, то можно их использовать, соединив попарно (фиг. LIII) тем способом, который указан на чертеже, так, чтобы противоположные их полюсы находились друг против друга, — проложив между ними некоторое тело G, которое воспрепятствовало бы им вступить в соприкосновение друг с другом. С равным успехом могут быть применены также либо естественный магнит AB с обычным ярмом (фиг. LIV), либо искусственный AB, изогнутый (фиг. LV) или в форме лошадиной подковы, или в форме полуокружности.



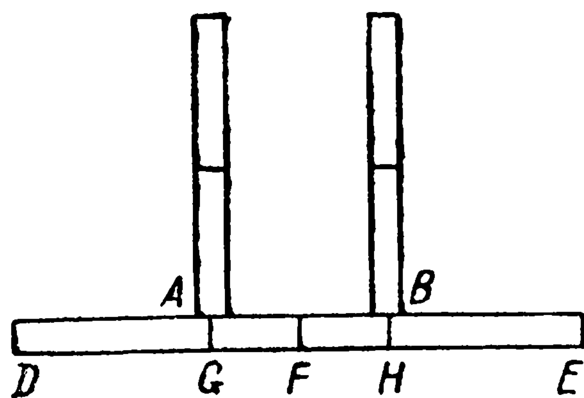
Фиг. LV.

229. Для рассмотрения того, какие следствия должны вытекать из указанного выше способа намагничивания, во-

образим себе, что оба полюса — положительный и отрицательный, — A и B (фиг. LII), поднесенные к пруту, имеют равные силы, и представим себе сперва, что частица m магнитной жидкости, находящаяся между полюсами и расположенная приблизительно в середине, отталкивается положительным полюсом с силой, равной r; ясно, что в этом случае сила отталкивания полюса A, перемещающая эту частицу от m к F, равна r. Далее, столь же ясно, что отрицательный полюс B, притягивая частицу m, побуждает ее к движению в том же направлении, что́ и положительный полюс, т. е. по прямой mF, с силой, которая ввиду того, что силы обоих полюсов равны между собой, также равна r. Поэтому ясно, что действия обоих полюсов будут помогать друг другу в получении одного и того же результата и что сила, побуждающая[57] частицу m передвинуться от мест железного прута, над которыми находится полюс A, в места, над которыми находится полюс B, окажется равной совокупности обоих действий, а следовательно, равной $2\ r$. Далее представим себе другую частицу n, расположенную снаружи от полюсов; примем, что действие на нее положительного полюса и в этом случае равно r и что действующая на нее сила отрицательного полюса равна ς, причем ясно, что ς должно быть меньше, чем r, так как частица n дальше отстоит от полюса B, чем от полюса A. Значит, полюс A, отталкивая эту частицу, толкает ее от n к t, а полюс B, притягивая ее, толкает ее в обратном направлении, к v; значит вся сила, толкающая ее к t, будет равна $r - \varsigma$. Сходное рассуждение применим и к частице p: она притягивается отрицательным полюсом в направлении Fs с силой, равной r, а положительным полюсом отталкивается в противоположном направлении, от p к n, с силой, равной ς; следовательно, вся сила, которая побуждает эту частицу к продвижению в направлении к s, также будет равна $r - \varsigma$.

230. Ясно, таким образом, что магнитные полюсы, поднесенные описанным способом к пруту DE, производят лишь

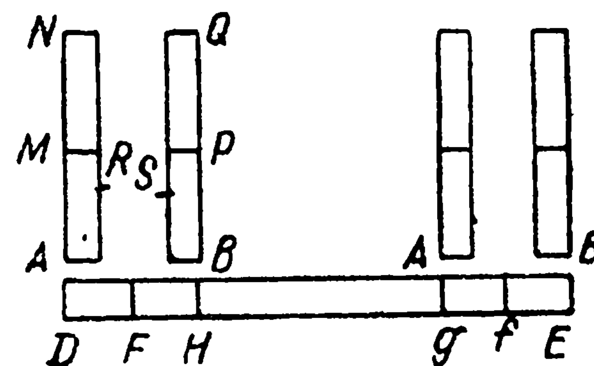
крайне слабое действие на частицы магнитной жидкости, заключенной в частях AD и BE железного прута. Поэтому следует считать, что и эти части либо сохранят то состояние, в котором они находились прежде, чем полюсы A и B были поднесены к пруту, либо, в худшем случае, незначительно нарушат его. Но совсем иначе обстоит дело с магнитной жидкостью, находящейся в части AB прута, заключенной между полюсами A и B. Частицы этой жидкости находятся под воздействием значительной силы, побуждающей их к переходу из частей, смежных с положительным полюсом A, в места, находящиеся под отрицательным полюсом B. Действительно, ясно, что сила $2r$, действующая на частицы жидкости, находящиеся в части прута, заключенной между полюсами, много больше, чем сила $r-\varsigma$, действующая на частицы, находящиеся в части AD или BE. Поэтому, то состояние, в которое приводится прут под действием полюсов A и B (фиг. LVI), будет следующим: часть GF, смежная с положительным полюсом, окажется в сильной степени отрицательно-магнитной, а часть FH, расположенная у отрицательного полюса B, — в большой степени положительно-магнитной. Остальные же части прута, AD и BE, не заключенные между полюсами, либо вовсе не подвергнутся изменению, либо оно будет лишь столь малым, что им можно здесь пренебречь. Поэтому эти части не подвергнутся ощутимому отклонению от того состояния, в котором они находились до того, как были поднесены полюса A и B, независимо от того, было бы это состояние естественным, положительно-магнитным или отрицательно-магнитным.



Фиг. LVI.

231. Если теперь полюса A и B (фиг. LVII) будут находиться над концом D прута, то часть DF прута, находящаяся под положительным полюсом A, должна стать отрицательно-

магнитной, а жидкость, находящаяся в ней, будет побуждаема к тому, чтобы покинуть часть *DF* и перейти в части, лежащие под другим полюсом *B*. Если же мы затем будем передвигать полюса *A* и *B* вдоль всей длины прута и представим себе, что они передвинулись из *D* к *E*, то всякий, кто захочет сколько-нибудь серьезно вдуматься в это дело, легко поймет, что конец *D* должен сохранить тот отрицательной магнетизм, который был им уже получен ранее (действительно, полюсы, будучи удалены на некоторое расстояние от конца *D*, не обнаружат никакого стремления, или если обнаружат, то чрезвычайно малое стремление, уничтожить снова магнетизм, который был ими сообщен концу *D*); но в то же время при продвижении полюсов вдоль всей длины прута от *D* к *E* они непрерывно будут обнаруживать стремление перегонять частицы магнитной жидкости, содержащиеся в пруте, в направлении от *D* к *E*. По той же причине, когда полюсы будут находиться над концом *E*, конец *fE*, находящийся под отрицательным полюсом *B*, станет положительно-магнитным, и магнитная жидкость из тех частей прута, над которыми находится положительный полюс *A*, должна перейти сюда; это вполне очевидно. Не менее ясно и то, что при продвижении полюсов от *E* к *D* не только конец *E* сохранит в неприкосновенности тот положительный магнетизм, который он ранее получил, но, кроме того, действие полюсов будет обнаруживать постоянное стремление побуждать жидкость переходить в направлении от *D* к *E*.



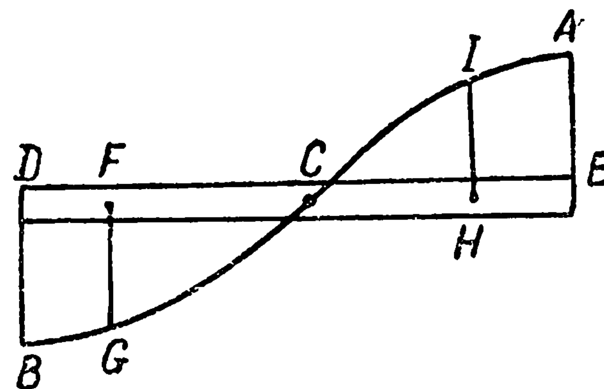
Фиг. LVII.

232. Поэтому ясно, что и вообще, независимо от того, будем ли мы передвигать полюсы от конца *D* к *E* или в обратном направлении от *E* к *D*, их действие будет обнаруживать постоянное стремление перегонять магнитную жидкость, содержащуюся в пруте *DE*, от конца *D* к концу *E*.

Легко также видеть, что этот способ намагничивания должен давать замечательный результат и производить более сильное действие, чем те способы, которые мы описали выше, и все прочие, которые применяются. Ибо сила, перегоняющая магнитную жидкость от D к E, вследствие взаимной помощи, которую оказывают друг другу полюсы A и B, достигает значительной величины; и поскольку, независимо от того, передвигаются ли полюсы вперед или назад, действие их все время содействует одному и тому же результату, пруту DE будет передана тем бо́льшая сила, чем дольше будет продолжаться процедура, пока, наконец, эта сила не достигнет высшего предела. Наоборот, остальные способы намагничивания, во-первых, не обладают столь же большой силой для намагничивания железного прута, а во-вторых, страдают тем недостатком, что частое повторение процедуры почти не усиливает результата, полученного от однократной операции, так как все время с каждым повторением процедуры уничтожается результат предыдущей; новый магнетизм передается пруту только ценой разрушения уже имеющегося.

233. Далее, особенным достоинством этого способа является следующее: при его помощи можно достигнуть того, что магнитный центр попадает точно в середину намагничиваемого прута. В другом месте я покажу подробнее, какую большую пользу это приносит при изготовлении магнитных стрелок высокого качества. Действительно, для того, чтобы при помощи этого способа двойного прикосновения привести магнитный центр точно в середину прута, необходимо только следить за тем, чтобы половина FE прута (фиг. LVI), точно столько же раз натиралась, сколько и вторая половина ED. Поэтому, если, как это обычно делается, начать натирание с середины и в первый раз передвигать полюсы к D, то перед окончанием процедуры необходимо соблюдать такой порядок, чтобы в последний раз вести полюс от конца E к середине и на этом закончить всю про-

цедуру. В самом деле, ясно, что при соблюдении этого правила половина *FE* будет натерта столько же раз, сколько и другая половина *FD*. Ведь само собою разумеется, поскольку сила, которая опорожнила часть *FD* от жидкости, равна силе, которая наполнила жидкостью вторую часть *FE*, и поскольку обе они были приложены равное число раз, магнитный центр не может попасть ни в какое другое место, кроме середины прута; значит, действие, производимое на часть *FD*, совершенно равно действию, производимому на часть *FE*. Итак, если мы выразим плотности жидкости или, вернее, разности между плотностью жидкости в каждой точке и ее естественной плотностью, кривою *ACB* (фиг. LVIII), то ординаты *HI* и *GF*, взятые так, чтобы их расстояния *EH* и *DF* от концов были равными, и сами будут равными. Следовательно, эта кривая в какой-то точке должна будет пересечь ось; поэтому, если такой точкой будет *C*, часть кривой *DCB* будет подобна и равна части *ACE*; отсюда следует, что точка пересечения *C*, являющаяся в то же время магнитным центром, должна попасть как раз в середину прута.



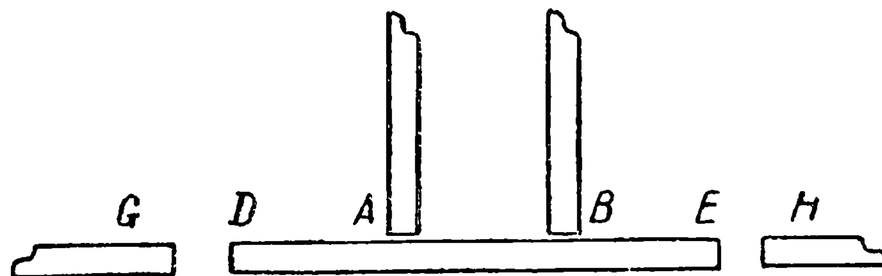
Фиг. LVIII.

234. Я уже сказал (§ 232), что при применении этого способа двойного прикосновения, чем дольше продолжается процедура, тем более увеличивается магнитная сила передаваемая пруту *DE*; однако к этому я прибавил оговорку, что эту силу можно увеличивать не до бесконечности, но лишь до некоторого максимального предела. Эта оговорка требует некоторого изъяснения, которое и необходимо сюда присоединить. Итак, представим себе, что намагничивание прута *DE* (фиг. LII) доведено уже до некоторого предела. Из сказанного выше ясно, что чем выше та степень, до которой часть *FD* опорожнена от жидкости, а часть *FE* наполнена жидкостью, с тем большей силой частица жидкости *m*,

находящаяся около F, будет перегоняться в направлении к D. Итак, ясно, что эта сила, поскольку она противодействует переходу частицы m из части FD в часть FE, в конце концов приведет дело к такому результату, что магнитные полосы A и B, стремящиеся при своем продвижении по железному пруту передвинуть эту частицу в обратном направлении, т. е. от D к E, уже не будут в состоянии произвести это действие. После этого уже, как бы часто ни повторялась в дальнейшем та же процедура, никакое дальнейшее увеличение силы не сможет иметь места. При этом могут, однако, получиться различные случаи. Та наибольшая степень магнетизма, которую, как мы только что показали, полюсы A и B в состоянии передать пруту DE, может быть либо больше степени насыщения, либо меньше ее. Если будет иметь место первое, то прут, предоставленный после окончания процедуры самому себе, немедленно же теряет избыток силы сверх степени насыщения; если же будет иметь место последнее, то прут сохраняет в неприкосновенности ту степень магнетизма, которую он до этого получил. Далее, в первом случае прут получил всю ту степень магнетизма, которую он может сохранить; поэтому, если даже для его намагничивания будут применены более сильные магниты, нельзя надеяться, что от этого получится какой-либо результат. В последнем же случае, прут хотя и получил наивысшую степень, которую могли произвести полюсы A и B, но он не получил той наибольшей степени, которую в состоянии удержать; поэтому, если его снова натереть более сильными магнитами, то эта работа не будет бесплодной, но, наоборот, в результате этого пруту будет передан более сильный магнетизм.

235. Прут DE (фиг. LIX), который хотят намагнитить способом двойного прикосновения, следует поместить между двумя магнитами, поднесенными к его концам D и E, так, чтобы полюс G, касающийся конца D, был одноименен с полюсом A, а полюс H, приложенный к концу E, — с по-

люсом *B*. Без труда можно понять, что в том случае, если мы будем применять процедуру двойного прикосновения, полюсы *G* и *H* окажут большую помощь намагничиванию прута *DE*. Действительно, очевидно, что эти полюсы будут стремиться передать пруту то же состояние, которое стремятся передать полюсы *A* и *B*, а именно, они содействуют тому, чтобы магнитная жидкость, находящаяся в пруте *DE*, оставила часть *DA* и переходила по направлению к другой части *BE*. Поэтому ясно, что вследствие этой дополнительной помощи будет необходимо для получения той же степени магнетизма меньшее число натираний с движением магнита взад и вперед, чем было бы необходимо, если бы полюсы *G* и *H* не были поднесены к пруту; ясно также, что в том случае, когда полюсы *A* и *B* сами по себе недостаточно сильны для того, чтобы намагнитить прут до степени насыщения, ему можно передать бо́льшую степень магнетизма, при поднесении к его концам полюсов *G* и *H*, чем если пренебречь этим приемом.



Фиг. LIX.

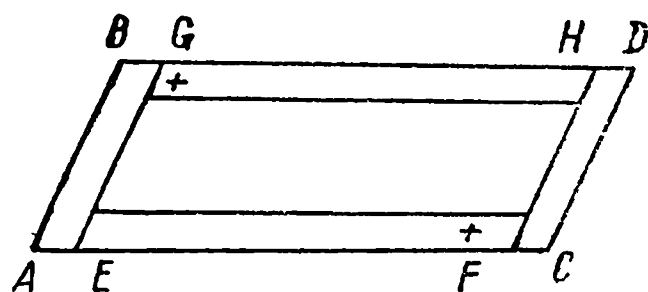
236. Если вместо магнитных полюсов *G* и *H* применить два не магнитных параллелепипеда из мягкого железа, то получится почти тот же результат. В самом деле, после того как полюсы *A* и *B* будут несколько раз проведены вдоль прута вперед и взад и сделают часть *DA* прута отрицательно-магнитной, а часть *BE* положительно-магнитной, вторая часть путем отталкивания, а первая путем притягивания магнитной жидкости, содержащейся в железных параллелепипедах *H* и *G*, приведут к такому результату, что *G* приобретет положительный, а *H* отрицательный магнетизм. Итак, получится такое же положение, как если бы с самого начала сразу же к пруту были поднесены два магнита, а следовательно, можно ожидать и одинакового результата.

237. На основании изложенного выше можно дать объяснение всего того, что обыкновенно происходит при изготовлении искусственных магнитов по способу Майчелля и Кэнтона,[58] и притом такое убедительное, что, как это станет очевидным, весь этот способ можно было бы вывести a priori из нашей теории, если бы она не стала уже известной из опытов. Поэтому я и решил теперь заняться разрешением этой задачи; обращаю при этом внимание на то, что я не собираюсь дать здесь все учение об искусственном магнетизме, но что часть его я приберегу для следующей главы. Я не буду здесь исследовать, как можно первоначально передать стальным прутьям магнитную силу без помощи другого магнита; здесь я собираюсь лишь изложить, каким образом мы можем, уже после того как эти прутья получили некоторую степень этой силы (каким бы путем это ни произошло), увеличить ее до степени насыщения.

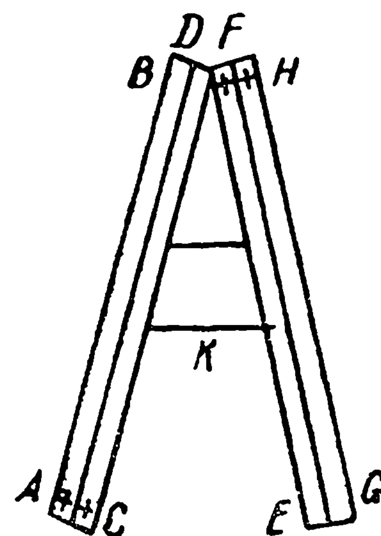
238. Обычно изготовляют четное число стальных прутьев, применяемых для искусственного получения магнетизма, т. е. либо 4, либо 6, либо 8 и т. д.; ведь если их взять в нечетном числе, трудно поставить опыт с достаточными удобствами. Хотя для уменьшения и сокращения работы, обычно изготовляются 4, 5 или 6 пар такого рода прутьев, здесь я покажу только способ, которого следует придерживаться, когда имеются 3 пары прутьев, магнетизм которых мы хотим усилить до степени насыщения. Ведь тот, кто надлежащим образом постиг способ, который надо применять, если имеется 6 прутьев, без труда уже сможет понять, что надо делать, если будет применяться более чем 3 пары.

239. Представим себе, что всем прутьям, которые мы хотим применять, уже до начала процедуры передана некоторая степень магнетизма; однако степень эта слабая, много более низкая, чем степень насыщения. Один из полюсов каждого прута, напр. северный, отметим крестом или какимнибудь другим знаком, для того чтобы во время проведения опыта всегда можно было удобно отличать полюсы каждого

прута. Пусть, наконец, всегда имеются в нашем распоряжении, по крайней мере, два параллелепипеда, изготовленных из мягкого железа, той же толщины, что и магнитные стальные прутья. Если мы теперь хотим увеличить магнетизм прутьев до степени насыщения, то надо поступать следующим образом. Прежде всего поместим одну пару прутьев *EF* и *GH* (фиг. LX) между параллелепипедами *AB* и *CD* из мягкого железа, о которых мы только что упомянули, на устойчивой деревянной доске, способом, обозначенным на чертеже. Укрепим их так, чтобы они не могли быть легко сдвинуты с места. Остальные 2 пары прутьев соединим в связки по два в таком порядке, как это показывает чертеж (фиг. LXI),



Фиг. LX.



Фиг. LXI.

и пусть между ними будет проложен какой-либо не железный предмет *K*, препятствующий соприкосновению связок между собой и достаточный для того, чтобы концы связок отстояли друг от друга на заметное расстояние. Затем, при помощи этих связок, по способу двойного прикосновения, подробно описанному в § 227, намагнитим обе полосы *EF* и *GH*, проведя связи от 7 до 9 раз туда и назад по поверхности каждой из них. После окончания этой процедуры, перевернем прутья *EF* и *GH* так, чтобы те стороны их, которые прежде касались доски, теперь были обращены вверх, а затем снова натрем каждый из прутьев связками, совершенно таким же образом, как в первый раз.

240. После этого вынем из связок магнитов еще одну пару прутьев, заменив их первой, только что намагниченной

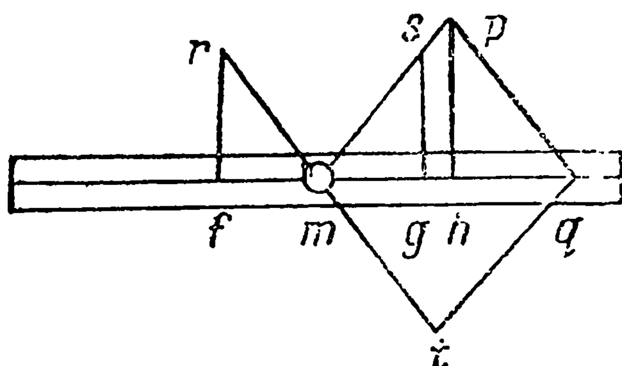
парой; эту вторую пару прутьев поместим между параллелепипедами AB и CD и намагнитим ее совершенно тем же способом, как первую пару. Окончив и эту процедуру, перейдем к третей паре прутьев, поместив и ее между параллелепипедами AB и CD, после того как она будет заменена в связках второю парой; затем будем снова намагничивать первую пару, и будем продолжать эту процедуру, идя по кругу до тех пор, пока перестанет наблюдаться усиление магнетизма в натираемой паре прутьев. Теперь надо закончить процедуру, ибо степень насыщения уже достигнута.

241. Я описал здесь как раз тот способ, который применяют Майчелль и Кэнтон для намагничивания стальных прутьев; вряд ли в нем встречается что-либо такое, чего нельзя было бы с достаточной ясностью объяснить на основании сказанного выше. Однако в этом способе мы встречаемся с некоторыми частностями, нуждающимися в более подробном рассмотрении; эти явления, будучи рассмотрены с точки зрения моей теории, привели меня к новому способу, более действенному и более удобному, чем описанный выше. К открытию этого способа меня привели следующие соображения. На основании теории легко было заметить, что совершенство способа Кэнтона зависит от того, что магнитные полюса A и B (фиг. LII) производят на частицы магнитной жидкости, находящиеся на части прута, заключенной между полюсами (какова, напр., m), очень большое действие, а на части жидкости, находящиеся в частях AD и BE прута (каковы, напр., n и p), — лишь очень слабое. Из вышеизложенного ясно, что действие на частицы n и p в некотором смысле противоположно действию на частицу m и что оно стремится либо уничтожить, либо, по крайней мере, уменьшить тот результат, который получается от действия на частицу m. В самом деле, сила, действующая на n, стремится отогнать жидкость, освободившую конец D и смежные с ним части, точно так же сила, действующая на p, стремится передвинуть жидкость, накопившуюся

у конца E, в среднюю часть прута. Поэтому тот, кто желает усовершенствовать этот способ, должен неизбежно направить свою мысль на то, чтобы по возможности увеличить действие на частицу m и уменьшить действие на частицы n и p. На первый взгляд, правда, может показаться, что очень легко добиться такого результата и что для этого не нужно никакого другого ухищрения, кроме того, чтобы полюсы A и B были подведены друг к другу так близко, как только возможно. Действительно, чем меньше расстояние между ними, тем ближе каждый из них к частице m и потому действует с тем большей силой на эту частицу; поэтому вся сила, с которой m перегоняется из D к E, равная $2r$, становится тем больше, чем больше приближаются друг к другу полюса A и B. Далее, ясно, что, с уменьшением расстояния между полюсами A и B, одновременно и расстояния частиц n и p от полюсов A и B становятся все более близкими к равенству между собой, откуда следует, что разница между r и ρ становится меньшей, так что вследствие этого при приближении полюсов друг к другу и сила, действующая на частицы n и p, равная $r-\rho$, значительно уменьшится.

242. Хотя эти рассуждения и представляются весьма правдоподобными, тем не менее, при более тщательном исследовании я без труда заметил, что они содержат логическую ошибку или, вернее, что они основываются на молчаливо принимаемой ложной предпосылке. Чтобы это стало ясным, необходимо учесть, что магнитная сила, которой наделен стальной прут или вообще любое тело, никогда не находится только в одной точке, но, наоборот, как бы разлита и распределена по всем точкам прута. Так, если, напр., конец A прута AN (фиг. LII) положительно-магнитный, а конец N — отрицательно-магнитный, то эти силы отнюдь не находятся только в точках A и N, но, наоборот, во всей половине AM прута в каждой ее точке имеется избыток жидкости; точно так же во всей другой половине MN имеется

ее недостаток. Итак, влияние, которое производят на частицу *m* и положительный полюс *AM* и отрицательный *BP*, составлено из бесконечного числа различных действий. В самом деле, очевидно, что любая точка положительного полюса *AM* отталкивает частицу *m*; точно так же любая точка отрицательного полюса *BP* притягивает ее. Из статики известно, что все эти действия могут быть собраны в одно среднее, равное им по действию. Итак, если мы предположим, что эти средние действия производятся по прямым *rm* и *sm*, то эти линии пройдут через некоторые точки полюсов *AM* и *BP*, каковы здесь *r* и *s*. Эти точки, через которые проходит среднее направление всех действий, производимых на частицу *m* и которые я в дальнейшем буду называть *центрами средних направлений*, как это можно легко понять, не могут совпасть с самыми нижними точками *A* и *B* полюсов *AM* и *BP*, но, наоборот, без труда можно убедиться в том, что они должны немного отстоять от прута *DE* и находиться немного выше его.



Фиг LXII.

243. Итак, поскольку центры средних направлений *r* и *s* не лежат на одной прямой с частицей *m*, ясно, что вся сила, с которой частица *m* побуждается к передвижению от *D* к *E*, не может быть принимаема равной сумме действий, которые производят на нее положительный и отрицательный полюсы, как мы поступили в § 241, но так как силы, исходящие из положительного полюса *A* и отрицательного *B*, образуют некоторый угол *rms*, то о количестве силы, движущей частицу *m*, надо заключать совсем иным путем. На продолжении прямых *rm* и *sm* (фиг. LXII) возьмем прямые *mt* и *mp*; примем, что они выражают силу, с которой как положительный полюс отталкивает частицу *m* в направлении *mt*, так и отрицательный притягивает ее в направлении

mp; если теперь дополнить параллелограмм *mpqt*, то его диагональ *mq* будет выражать всю ту силу, под действием которой находится частица *m*; само собою разумеется, эта сила меньше, чем сумма сторон *mt* и *mp*, т. е. чем $2r$.

244. Чем больше, при прочих равных условиях угол *pmt*, т. е. чем меньше смежный с ним угол *rms*, тем меньшей оказывается диагональ *mq*, а вместе с тем и сила, под действием которой находится частица *m*, выражаемая этой диагональю; если угол *rms* станет совершенно равным нулю [а это произойдет или, по крайней мере, произойдет приближенно, если прутья *AN* и *BQ* (фиг. LII) будут придвинуты друг к другу вплоть до соприкосновения], то и действие на частицу *m* одновременно станет равным нулю. Если затем мы будем полюсы *A* и *B* все дальше и дальше отодвигать друг от друга и представим себе, что расстояние между ними стало равным бесконечности, то и в этом случае действие на частицу *m* становится равным нулю, ибо по причине бесконечно большого расстояния как положительного полюса *A*, так и отрицательного полюса *B* действие на частицу *m* становится равным нулю. Всякий, кто хоть немного освоился с математическими изысканиями, сможет без труда предсказать, что в этом случае существует какой-то максимум, лежащий между двумя крайними случаями, указанными выше, а именно, что существует некоторое расстояние между полюсами *A* и *B*, при котором действие на частицу *m* будет наибольшим; если это расстояние увеличить или уменьшить, действие, производимое полюсами на частицу *m*, уменьшается.

245. Чтобы это стало яснее на частном примере, представим себе на некоторое время, что действие полюсов *A* и *B* на частицу *m* (фиг. LXII) подчиняется закону, согласно которому оно обратно пропорционально расстояниям *rm* и *sm*; обозначим прямую *rf* или *gs* буквой *a*, а прямую *fg* буквой *x*.

По вычислении оказывается, что $rm = sm = \sqrt{a^2 + \frac{x^2}{4}}$,

откуда сила mt или $mp = \frac{1}{\sqrt{a^2 + \frac{x^2}{4}}}$; но так как $mr : mf = mp : mh$, то mq, т. е. сила, действующая на частицу m, будет равна $\frac{4x}{4a^2 + x^2}$. Если теперь примем ее дифференциал равным нулю, т. е. $16a^2 dx - 4x^2 dx = 0$, то окажется, что сила будет наибольшей, если будет $x = 2a$, т. е. $fg = 2fr$. Хотя я и не собираюсь выдавать закон, существование которого я здесь допустил, за истинный закон природы, тем не менее ясно, что, каков бы ни был закон, которому следует здесь природа, однако, рассуждая подобным же образом, как при сделанном нами произвольном предположении, мы всегда сможем найти такое расстояние между полюсами, при котором действие на частицу m будет наибольшим; это расстояние не может быть ни увеличено, ни уменьшено без того, чтобы из-за этого не уменьшилась сила, действующая на частицу m.

246. Итак, хотя способ двойного прикосновения много лучше всех остальных, необходимо признать, что в том виде, как он применяется Кэнтоном и Майчеллем, он страдает некоторым существенным несовершенством. Для того чтобы сила, действующая на частицу m (фиг. LII), не уменьшилась без нужды, надо остерегаться, чтобы полюсы A и B не находились слишком близко друг к другу и при сближении не перешли границы максимума. Итак, поскольку полюсы всегда должны удерживаться на значительном расстоянии, не может произойти так, что силы, действующие на частицы n и p, либо станут совершенно равными нулю, или окажутся хотя бы столь малыми, чтобы стать как бы недоступными чувствам. Но ясно, что это может стать причиной немалого ущерба, так как эти силы, как мы выше показали и как это само собой разумеется, стремятся уничтожить действие, произведенное полюсами A и B. Итак, хотя вначале мне казалось чрезвычайно трудным внести улучшения в этот способ, в конце концов мне все же удалось найти прием, дающий

удачное избавление от этого недостатка. Однако прежде, чем я расскажу об этом, я решил остановиться на некоторых вещах, для изложения которых здесь представляется удобный случай.

247. Если на прут *DE*, изготовленный из немагнитного мягкого железа (фиг. LVI), поставить магнитные полюса, положительный *A* и отрицательный *B*, то, как известно, части прута, на которых стоят эти полюса, станут магнитными, причем так, что часть *GF*, лежащая под полюсом *A*, станет отрицательно-магнитной, а часть *HF*, лежащая под полюсом *B*, — положительно-магнитной. Итак, в этом случае прут притягивается полюсами *A* и *B*, но, как легко понять из изложенного выше, она притягивается в тем большей степени, чем сильнее намагничены части *GF* и *FH*, и в тем меньшей, чем слабее намагничены части *GF* и *FH*. Однако, как только что было достаточно подробно показано, степень магнитной силы, получаемой частями *GF* и *FH*, зависит в значительной степени от расстояния между полюсами *A* и *B*; следовательно, ясно, что количество силы, с которой притягивается железо *DE*, зависит от того же расстояния. Поэтому, если полюсы так размещены, что расстояние между ними соответствует максимуму, то они притягивают железный предмет *DE* с наибольшей силой. Если же полюсы ближе сдвинуты друг к другу или более отдалены друг от друга, то они притягивают его с меньшей силой. Если же полюсы тонкие и сдвигаются до полного соприкосновения друг с другом, они уже не обнаруживают никаких признаков силы притяжения.

248. Все это прекрасно подтверждается данными опыта; кто хочет произвести такую проверку на опыте, пусть поступает следующим образом. Выберем пару тонких магнитных стальных прутьев; сперва приблизим эти полосы друг к другу до соприкосновения и будем исследовать, с какой силой они в этом случае притягивают какой-либо данный параллелепипед из мягкого железа. Затем будем постепенно

все более и более отодвигать друг от друга указанные прутья, напр. на $^1/_2$, 1, $1^1/_2$, 2 дюйма и т. д., и будем таким же образом исследовать, какова сила притяжения полюсов на каждом из этих расстояний. Тогда окажется, что в случае соприкосновения прутьев не удается заметить почти никакой силы притяжения; когда же затем прутья отодвигаются друг от друга, притяжение возрастает все более и более, до тех пор, пока мы не дойдем до некоторого определенного предела; если мы переступим этот предел и будем отодвигать прутья еще дальше друг от друга, то обнаружим, что притяжение начинает снова уменьшаться.

249. Как мне кажется, руководясь этими фактами, можно притти к некоторым приемам, весьма полезным при изготовлении искусственных магнитов, изогнутых либо в форме лошадиной подковы, либо в форме полуокружности.

Действительно, ясно, что сила притяжения магнитов такого рода в большой степени зависит от приданной им кривизны: они не должны быть слишком искривлены, чтобы их концы, т. е. полюсы AK и KB, не приблизились друг к другу более, чем нужно, но им не следует также придавать кривизну, меньшую чем нужно, чтобы их концы не отстояли друг от друга более, чем нужно. Наиболее подходящей будет такая кривизна, и именно такую кривизну надо выбирать, при которой расстояние между полюсами соответствует максимуму. Было бы весьма желательным открыть закон этой кривизны; однако сделать это a priori невозможно, вследствие несовершенства нашей теории. Поэтому необходимо прибегнуть к опыту, который удобнее всего поставить следующим образом: некоторое число прутьев, изготовленных из одной и той же стали, равных и подобных, изогнем различным образом, одни в большей, другие в меньшей степени; затем закалим их одновременно и одним и тем же способом намагнитим; затем будем исследовать силу, с которой каждая из них может удержать некоторый данный железный предмет. Таким образом, может

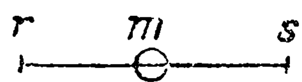
оказаться, что обычная форма магнитов вовсе не является наилучшей, но что в некоторых случаях лучше такая кривизна, когда магнит изгибается в форме полуэллипса.

250. Что касается естественных магнитов с ярмом, то и для них я считаю эти соображения чрезвычайно важными. В самом деле, если магнит такого рода, не имеющий ярма, хотя и обладает весьма благородными силами, но имеет длину или меньшую, или большую, чем до́лжно, то может случиться, что и после того, как он будет оборудован ярмом, он не приобретет таких сил, которые можно было бы ожидать. Наоборот, если другой магнит, более слабый, имеет должную длину, то может получиться так, что, будучи оборудован ярмом, он получит способность поднимать значительно бо́льшую тяжесть, чем первый, который считали гораздо более сильным. Не следует ли в этом, хотя бы частично, искать причину парадоксальных явлений, наблюдаемых обычно при оборудовании естественных магнитов? Действительно, в литературе засвидетельствованы случаи, когда обнаруживалось, что иногда сила более слабых магнитов значительно увеличивалась, а сила более сильных магнитов в значительно меньшей степени увеличивалась, после того как они снабжались ярмом.

251. При намагничивании по способу Майчелля или Кэнтона наблюдаются явления, которые можно объяснить на основании этих положений. Поместим стальные прутья *EF* и *GH* (фиг. LX) между железными параллелепипедами *AB* и *CD* для того, чтобы эти параллелепипеды стали магнитными и помогали нашей процедуре. Чем бо́льшую степень магнитной силы они приобретут, тем больше они принесут пользы. Но ясно, что это зависит от того, насколько прутья *EF* и *GH* отстоят друг от друга; поэтому особенно важно выбрать надлежащее расстояние, именно такое, при котором прутья *EF* и *GH* передают параллелепипедам *AB* и *CD* самую высокую степень магнитной силы. Каково точно это расстояние, я не решаюсь определить a priori;

разрешение этого вопроса должно быть предоставлено опыту.

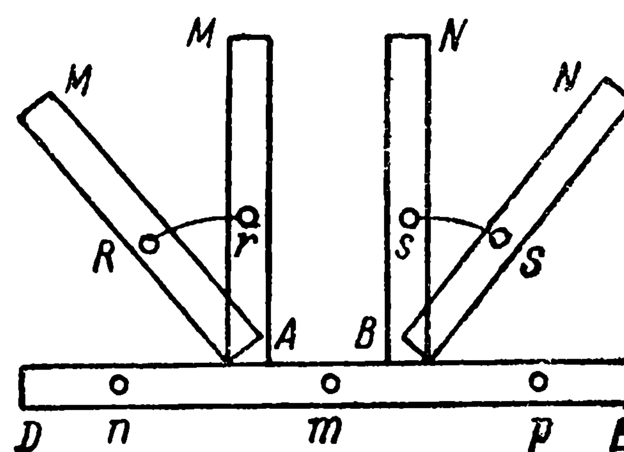
252. Теперь, наконец, следует перейти к изложению того, что я придумал для усовершенствования способа двойного прикосновения. Мне расчистили дорогу к этому открытию следующие соображения. Представим себе, что центры средних направлений r и s (фиг. LXIII) лежат на одной прямой с частицей m магнитной жидкости; ясно, что в этом случае вообще не существует такого максимума, какой имеется в том случае, когда три точки r, s и m не лежат на одной прямой; наоборот, чем более приблизятся друг к другу точки r и s, тем все большею и большею будет становится сила, с которой они действуют на частицу m. Но отсюда легко заключить, что при применении способа двойного прикосновения, чем менее отстоят точки средних направлений r и s от прута DE, тем ближе можно без всякого ущерба придвинуть друг к другу прутья, а также тем большей можно сделать силу, действующую на частицу m. Так, напр., при произвольном предположении, руководясь которым мы произвели расчет в § 245, ясно, что чем меньшим становится a, т. е. расстояние rf, тем меньшим становится в то же время и расстояние fg между полюсами, соответствующее максимуму, поскольку оно в два раза больше прямой rf; но одновременно с этим наибольшая сила, которую только возможно получить, равная $\frac{1}{a}$, возрастает. Ясно, что каков бы ни был истинный закон, которым руководится в этом случае природа, будут наблюдаться сходные явления.



Фиг. LXIII.

253. При таких предпосылках уже было не очень трудно представить себе, каким способом можно добиться того, чтобы центры средних направлений r и s оказались в наименьшем расстоянии от прута DE. Действительно, если прутья AM и BN (фиг. LXIV), стоящие перпендикулярно к пруту

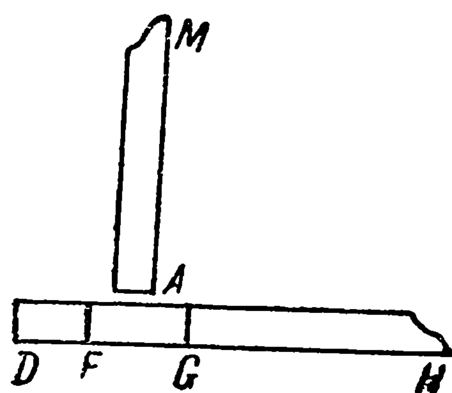
DE, будут наклонены в разные стороны так, как показано на чертеже, т. е. так, чтобы они образовали очень острые углы с прутом *DE*, причем точка *r* перенесется в *R*, а точка *s* — в *S*, то ясно, что эти точки значительно приблизятся к пруту *DE*. Итак, с большой пользой можно применить способ Майчелля или Кэнтона, сделав так, чтобы прутья, при помощи которых происходит намагничивание, были бы наклонены в разные стороны насколько только можно и почти бы лежали горизонтально; в этом случае, вследствие незначительного расстояния центров средних направлений от прута *DE*, концы *A* и *B* прутьев *AM* и *BN* можно пододвинуть один к другому чрезвычайно близко, причем в этом случае не придется бояться какого-либо ущерба, а увеличение силы, действующей на частицу жидкости *m*, будет весьма значительным.



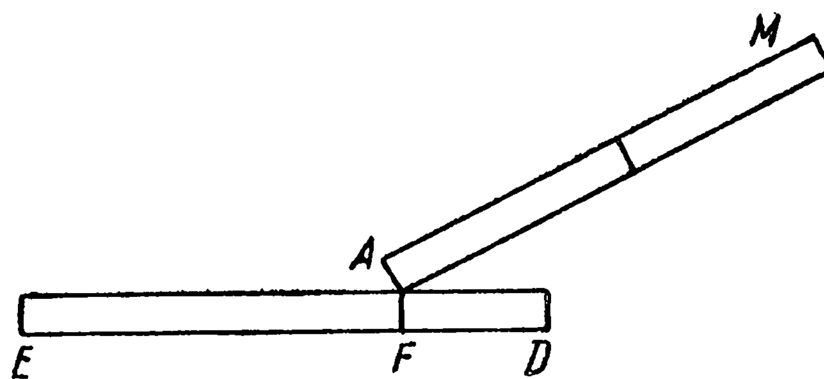
Фиг. LXIV.

254. Итак, нам удалось найти прием, при помощи которого можно исправить способ двойного прикосновения в целях увеличения силы, действующей на частицу *m*; действительно, благодаря только что описанному приему эта сила становится более значительной, чем если процедура проводится обычным способом. Однако из §§ 229 и сл. ясно, что при усовершенствовании способа двойного прикосновения надо обращать внимание не только на то, чтобы увеличить силу, действующую на *m*, но необходимо также, насколько это возможно, уменьшить силу, толкающую частицу *n* по направлению к *D*, а частицу *p* — по направлению к *E*. Но по удачному совпадению тот же самый прием, при помощи которого мы показали, как можно увеличить силу, действующую на *m*, удовлетворяет и этому требованию. Это понять очень легко и для этого нет нужды в многословном объяснении. В самом деле, если, напр., положительный полюс

стоит на пруте в вертикальном положении около конца D (фиг. LXV), то ясно, что он будет стремиться перетолкнуть жидкость из лежащей под ним части прута FG как по направлению к H, так и частично по направлению к концу D; если же он имеет наклонное положение (фиг. LXVI), то очевидно само собой, что он стремится выгнать жидкость из

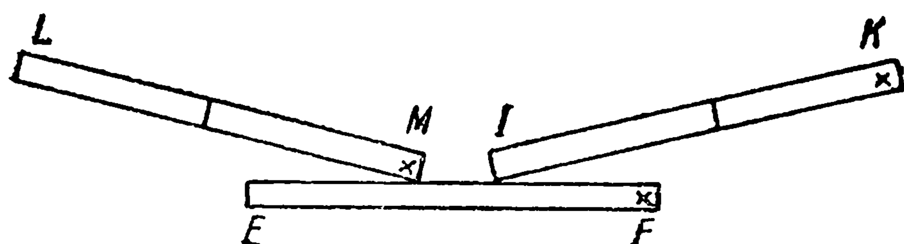


Фиг. LXV.



Фиг. LXVI.

всей части DF, включая самый конец D. Отсюда следует (поскольку сказанное верно и для отрицательного полюса), что наклонное положение прутьев и в этом отношении следует предпочесть вертикальному, т. е. такому, какое имеют прутья при применении обычного способа.



Фиг. LXVII.

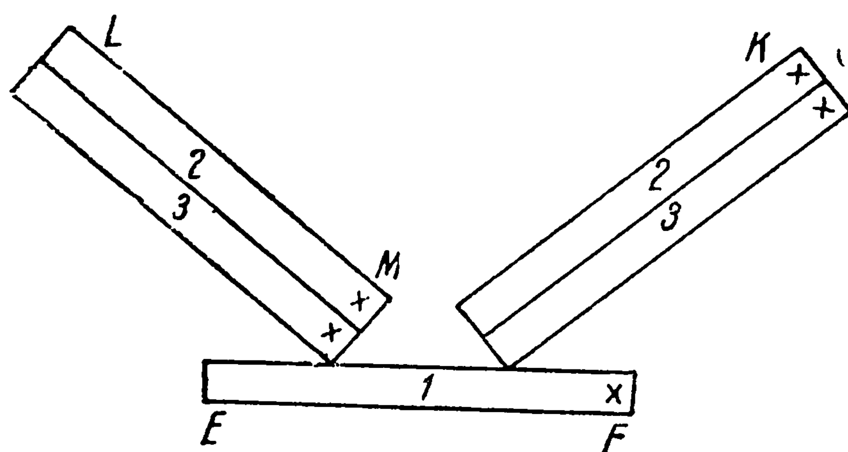
255. С тех пор, как мне стало известно то, что я здесь изложил, я редко пользуюсь методом Майчелля и Кэнтона, но привык к другому способу, являющемуся, как я полагаю, моей собственностью, который я, быть может не без основания, называю *исправленным способом двойного прикосновения*. Эта процедура выполняется при применении такого способа следующим образом. Пусть в моем распоряжении имеются 4 прута, уже наделенные некоторым количеством магнетизма, силу которых надо увеличить до степени насыщения. Я помещаю для получения этого результата первую из пар, EF и GH (фиг. XL), совершенно так же,

как в способе Майчелля, между железными параллелепипедами *AB* и *CD*. Затем к одному из этих прутьев, напр. *EF* (фиг. LXVII), я подношу вторую пару прутьев *LM* и *IK*, поместив их около середины прута тем способом, который изображен на чертеже. Я наклоняю их, чтобы они образовали с прутом достаточно малые углы *LME* и *KIF*, скажем, в 15 или 20°, концы же прутьев *M* и *I* я придвигаю настолько близко друг к другу, чтобы расстояние между ними равнялось лишь нескольким линиям. Затем я провожу их по пруту *EF*, двигая их сначала вперед, затем назад и т. д., соблюдая во всем прочем все то, что обычно соблюдается при применении способа Майчелля. После того как таким способом прут *EF* будет натерт с обеих сторон, я совершаю такую же процедуру также и над другим прутом *GH*. Затем, вместо первой пары прутьев я беру другую, *LM* и *IK*, помещаю ее между параллелепипедами *AB* и *CD* и натираю ее при помощи первой пары прутьев описанным выше способом. После этого я возвращаюсь к первой паре и так, идя по кругу, повторяю процедуру до тех пор, пока я не замечу, что силы прутьев уже дальше не увеличиваются, после чего я прекращаю процедуру.

256. Я показал здесь, каким образом при наличии двух пар прутьев их сила может быть увеличена до наивысшей степени, которой они способны обладать; однако вся эта процедура протекает столь же успешно, хотя и несколько более медленно, и в том случае, если применяются только три прута. Обозначим эти три прута буквами *A*, *B* и *C* и, поместив первый из них, *A*, между двумя железными параллелепипедами, натрем его при помощи прутьев *B* и *C* по моему исправленному способу двойного прикосновения. После того как это будет сделано, поместим второй из прутьев, *B*, между железными параллелепипедами вместо первого *A* и с помощью прутьев *A* и *C* натрем его таким же образом, затем совершим такую же процедуру над третьим, *C*, и, наконец, вернувшись к первому *A*, идя по кругу, будем

повторять процедуру, пока все прутья не будут насыщены магнитной силой.

257. Если угодно применить больше пар прутьев, напр. 3 или 4, или 5, то и в этом случае вся эта процедура приводит к удачному результату. Так, напр., если мы хотим таким способом намагнитить 3 пары прутьев, то поместим первую из этих пар, *EF* и *GH* (фиг. LX), обычным способом между железными параллелепипедами; затем остальные 2 пары прутьев распределим в две связки и, поставив их на прут *EF* (фиг. LXVIII) таким способом, как они поставлены на чертеже, натрем его, а вслед за ним второй, *GH*, по исправленному способу двойного прикосновения, и таким же способом, как и в остальных случаях, идя по кругу, повторим эту процедуру столько раз, сколько будет нужно для того, чтобы достичь степени насыщения. Хотя и в этом случае процедура приводит к удачному результату и даже, может быть, в этом случае намагничивание происходит быстрее, чем если применяются только 3 или 4 прута, однако я никому не советую применять более, чем 4 прута. Действительно, при этом можно опасаться некоторых неприятных последствий; в чем они состоят, я покажу ниже.



Фиг. LXVIII.

258. Ряд опытов, которые я ставил почти ежедневно, убедил меня в том, что этот мой способ дает лучшие результаты, чем способ Майчелля и Кэнтона. Если, однако, кто-нибудь все еще сомневается в правильности этого дела, то он может следующим образом проверить справедливость моего утверждения. Приготовим 2 стальных прута, подобные и равные и закаленные до одинаковой степени. Первый из них натрем какой-нибудь парой магнитных стальных прутьев по

моему способу, а второй намагнитим той же парой прутьев, натирая такое же число раз, но уже по способу Кэнтона; окажется, что если действовать по моему способу, то всегда будет получаться значительно бóльшая степень магнетизма. Какова же причина превосходства этого моего способа перед способом Кэнтона достаточно ярко показывает то, что я изложил выше.

259. Кроме того, что мой способ, изложенный выше, дает лучшие результаты, чем способ Майчелля он имеет ряд преимуществ, которых лишен второй способ; я считаю целесообразным дать здесь читателям их краткий перечень. Майчелль и Кэнтон применяют всегда большее количество пар прутьев, напр. 3, 4 или 5, а иногда и еще больше. Отсюда возникает то неудобство, что никогда не удается сообщить высшую степень магнетизма, которую способно принять железо, более чем одной паре прутьев. Действительно, только та пара, которая натерта последней, может быть доведена до степени насыщения, а остальные пары, собранные в пучки, обладают меньшей степенью магнетизма, чем степень насыщения. Если же применить мой способ, с употреблением не более чем 3 или 4 прутьев, всегда каждая из двух пар будет наделена высшей степенью магнетизма, которую она способна принять. Легко понять, какова причина этого. Пары прутьев AB и CD, собранные в связки, так прикладываются друг к другу при применении способа Майчелля, что одноименные их полюсы A и C или B и D касаются один другого: само собой разумеется, что они в этом случае обнаруживают стремление взаимно ослаблять магнитную силу, которою каждая из них обладает. Правда, кто-нибудь может подумать, что этот недостаток легко исправить, если мы будем применять также 3 или 4 прута, а в остальном сохраним целиком тот же способ. Но тот, кто попробует поступить так, убедится, что процедура становится крайне скучной и длится чрезвычайно долго, до тех пор пока можно будет достигнуть степени насыщения. Отсюда понятна причина, почему

я выше отказался советовать применять больше чем 3 или 4 прута.

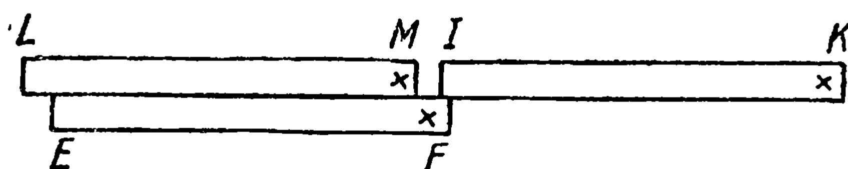
260. Ошибочность способа двойного прикосновения, при применении его обычным способом, состоит еще в следующем: может случиться, что даже в том случае, если мы будем повторять процедуру до бесконечности, прутья никогда не будут доведены до степени насыщения; правильность этого утверждения не так трудно показать. Действительно, вообразим себе, что по 2 пары прутьев AB и CD, EF и GH (фиг. LXI) собраны по споссбу Кэнтона в связки, и представим себе, что угол $CDFE$, на который они раздвинуты, постоянно уменьшается. Из сказанного выше ясно, что сила, с которой один прут намагничивает другой прут при применении этого способа, может уменьшиться до того, что станет почти недоступной чувствам или, во всяком случае, станет чрезвычайно малой; это случится, когда прутья будут придвинуты друг к другу до полного соприкосновения. Значит, может получиться так, что угол $CDFE$, на который они раздвинуты, будет сделан столь малым, что соответствующая ему сила не будет достаточно большой для того, чтобы она могла передать намагничиваемому пруту степень насыщения. Итак, легко понять, что нет смысла выбирать такой угол, при котором это происходит, и ясно, что если мы в этом случае будем натирать прутья EF и GH, то хотя бы прутья, составляющие связки, были насыщены магнитной силой, тем не менее, наделение прутьев EF и GH магнетизмом должно остановиться на низшей степени, чем степень насыщения. Итак, ясно, что это произойдет скорее, если прутья, собранные в связки, не намагничены до степени насыщения. В самом деле, если с самого начала все применяемые прутья наделены лишь слабым магнетизмом, а мы будем стараться увеличить их силу по способу Кэнтона, то совершенно ясно, что мы никогда не достигнем степени насыщения, даже если процедура будет повторяться бесконечное число раз. При применении же моего способа нет никакой причины бояться,

что это случится, ибо чем ближе пододвигаются друг к другу концы полюсов, применяемых для намагничивания, тем более увеличивается их сила; она никогда не уменьшается, как при применении обычного способа. Свидетелем того, что мои утверждения согласуются с данными опыта, я могу привести самого знаменитейшего Кэнтона, который сам признает, что при применении только лишь его способа намагничивания, он не мог передать прутьям той наибольшей степени магнетизма, которую они способны принять. Действительно, после окончания процедуры он подносил два прута *LM* и *IK* (фиг. LXVII) в наклонном в разные стороны положении к середине намагничиваемого прута *EF* и затем двигал прут *ML* по направлению к *E*, сохраняя это наклонное положение, а второй прут *IK* двигал к *F*, и уверяет, что прут *FE* благодаря этому приобретает еще некоторое прибавление к своим силам.

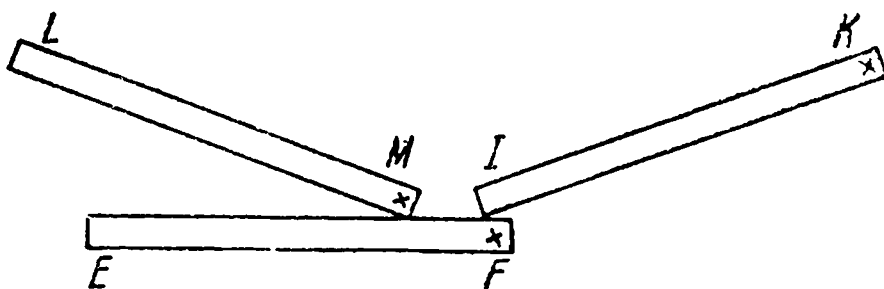
261. Наконец, всякий, кто, применяя способ Майчелля или Кэнтона, работал когда-либо над изготовлением искусственных магнитов, должен будет признаться, что эта работа чрезвычайно утомляет экспериментатора, особенно если он захочет наделить магнитной силой прутья несколько большей, чем обычно, массы или тяжести, — скажем, в 20 или 30 фунтов. Если же применить мой способ, то опыт показывает, что вся процедура заканчивается без всяких неприятностей для исследователя. Наконец, не столь уже маловажным преимуществом моего способа следует считать и то, что при его применении с помощью небольшого числа прутьев, изготовить которые просто и легко, можно получить все те результаты, которые при следовании способу Кэнтона могут быть получены лишь при помощи большого ассортимента прутьев.

262. Я не должен забывать об одном сомнении, которое может возникнуть относительно моего исправленного способа двойного прикосновения. Я указывал ставящему опыт, что он должен держать прутья *LM* и *IK*, которыми натирается третий прут *EF*, в таком положении, чтобы они образовы-

вали с прутом EF углы LME и KIF, которые должны быть достаточно острыми, приблизительно в 15 или 20°. Но на основании сказанного выше может показаться, что было бы правильнее, чтобы прутья LM и IK были так помещены на пруте EF, чтобы углы LME и KIF стали совершенно равны нулю, т. е. чтобы они совершенно коснулись прута EF, и не сразу бросается в глаза причина, почему этого нельзя допустить. Однако я легко могу объяснить причину, побудившую меня притти к такому выводу. Если представить себе, что прутья LM и IK (фиг. LXIX) положены на прут EF и вообразить себе затем, что они движутся по способу двойного соприкосновения к одному из концов, напр. к F, то станет ясно, что прут LM в этом случае придет в полное соприкосновение с прутом EF по всей своей длине. Итак, поскольку в этом случае одноименные полюсы E и L этих прутьев будут лежать непосредственно один на другом, полюс L неизбежно будет стремиться ослабить ту магнитную силу, которую получил при предшествующем намагничивании конец E. Если же поступать по моему способу, то концы прутьев L и E (фиг. LXX) останутся настолько удаленными друг от друга, что не придется бояться, чтобы от этого произошел ощутительный ущерб. Однако приведенное мною соображение имеет силу лишь для того случая, когда натираемый прут имеет приблизительно ту же длину, что и те, которые применяются для намагничивания. Итак, если мы хотим наделить магнитной силой какой-либо прут, не превышающий по длине половину прута LM или IK, напр. маг-



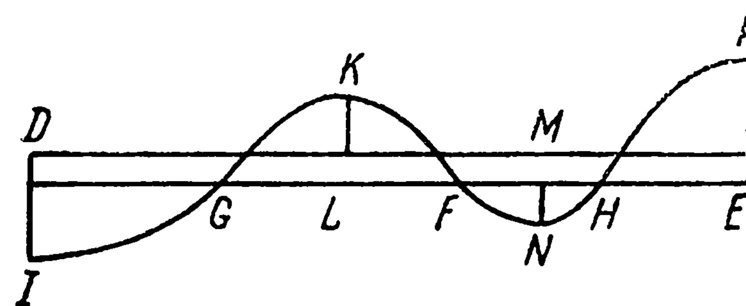
Фиг. LXIX.



Фиг. LXX.

нитную стрелку, то можно приблизить к ней прутья, применяемые для получения магнитной силы, почти до полного соприкосновения, и это даст надлежащий результат; поэтому и я сам обычно применяю этот способ.

263. В способе двойного соприкосновения (независимо от того, будем ли мы применять способ Майчелля и Кэнтона или мой способ), как прекрасно видно из изложенного выше, магнитная жидкость [которая, пока прут *DE* (фиг. LXXI) находится в естественном состоянии, распределена по этому пруту равномерно] постоянно побуждается к переходу с конца *D* на другой конец *E*, причем она разрежается у *D* и уплотняется у *E*. Ясно, следовательно, что при применении этого способа в натираемом пруте не обнаруживается стремления к образованию последовательных точек, но, наоборот, если нет других причин, то этот способ в очень большой степени затрудняет появление этих точек. Не следует, однако, думать, будто, применяя этот метод, мы можем так намагничивать железный прут, чтобы воспрепятствовать появлению последовательных точек, какова бы ни была длина намагничиваемого прута. Наоборот, легко показать, что прутья могут быть доведены до такой длины, что, если даже представить себе, что они первоначально имели только два полюса, то на них должен будет сам по себе появиться ряд последовательных точек. Действительно, необходимо принять, что чем более длинной мы будем представлять себе, напр., положительно-магнитную часть *FG* прута *DE*, тем более будет возрастать вместе с длиной и ее способность отталкивать частицы магнитной жидкости; поэтому в конце концов эта сила должна стать столь большой, что она заставит жидкость, содержащуюся в смежной части *DG*, оставить свое место и перейти в более отдаленные части; вследствие этого



Фиг. LXXI.

части прута, смежные с G, должны опорожниться от жидкости и стать отрицательно-магнитными. Совершенно так же мы будем рассуждать и в другом случае: если отрицательно-магнитная часть прута FH становится непрерывно все более длинной, то вследствие одновременного возрастания ее силы притяжения он, в конце концов, возрастет до такой величины, что побудит жидкость, заключенную в более отдаленной части прута HE, приблизиться к частям, смежным с точкой H, и там накопиться.

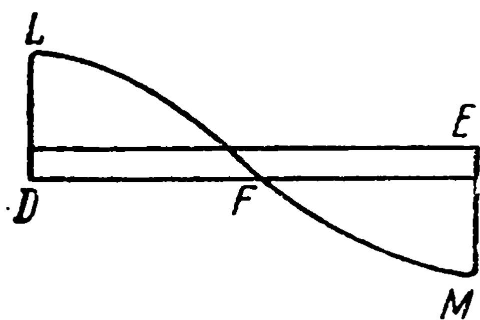
264. Итак, хотя нельзя увеличивать до бесконечности ни положительно-магнитную, ни отрицательно-магнитную часть прута, без того, чтобы он не распался как бы на куски под воздействием собственной силы, однако ясно, что каждая из его частей может быть увеличена до большей длины, если прут состоит из сильно закаленной стали, чем если он состоит из очень мягкого железа. Действительно, чем тверже железо, тем больше то сопротивление, которое встречает магнитная жидкость, проходя через поры железа, а чем больше это сопротивление, тем большей, само собой разумеется, должна быть сила полюсов — положительного GF и отрицательного FH, — прежде чем сила отталкивания первого будет в состоянии опорожнить от жидкости часть, смежную с G, а сила притяжения второго будет в состоянии наполнить жидкостью места, лежащие около H. Отсюда ясно, что при прочих равных условиях в более твердой стали как положительному, так и отрицательному полюсу может быть придана бóльшая длина, чем в более мягкой, без того чтобы он под действием собственной силы разделился на части. По той же причине и проволока из любого металла может быть доведена до такой длины, что распадется на части под влиянием собственного веса; однако, при прочих равных условиях, прежде чем это случится, более твердый металл может выдержать бóльшую длину, чем более мягкий. Теперь, наконец, читатели могут понять, почему я выше утверждал, что в том случае, когда применяется подходящий способ

намагничивания, мягкое железо более благоприятствует образованию последовательных точек, чем закаленная сталь.

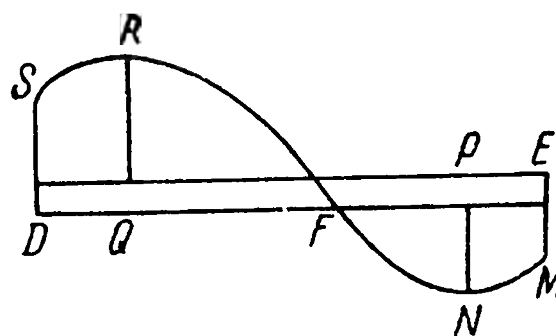
265. Горя любопытством увидеть, согласуются ли данные опыта с этими моими рассуждениями, я намагнитил моим способом железную проволоку в 4 фута длины, состоящую из достаточно мягкого железа, и обнаружил, что она получила четыре полюса, а именно: северный *DG* (фиг. LXXI), южный *GF*, затем снова северный *FH* и южный *HE*. Затем, взяв другой стальной прут, не закаленный до самого высшего предела, но имеющий такую степень твердости, какую обычно придают мастера пружинам, и такую же длину, как и проволока, и намагнитив его совершенно таким же способом, я обнаружил, что он получил только два полюса. Я не решаюсь определить, какова максимальная длина, которую можно придать твердым стальным прутьям, без того, чтобы на них появились последовательные точки; это, как мне кажется, может быть установлено только путем повторных опытов, поставить которые я до сих пор еще не имел возможности. Однако я полагаю, что описанные выше мои опыты обнаружили, что таким способом можно намагнитить сильно закаленные прутья, значительно превышающие в длину даже 4 фута, без того, чтобы приходилось бояться появления последовательных точек.

266. Всякий, кто привычен к физическим и геометрическим исследованиям и кто хорошо знаком с законом, которому постоянно следует природа, без труда поймет, если хоть немного подумает над всем сказанным, что в очень длинном пруте, имеющем последовательные точки, магнитная жидкость отнюдь не может быть распределена равномерно по частям *DG*, *GF*, *FH* и *HE*, т. е. так, чтобы, напр., в любой точке части *GF* оно было таким же плотным, как в другой точке той же части; в этом случае магнетизм в точке *G* из положительного как бы скачкообразно, сразу же, переходил бы в отрицательный, но, как это в достаточной мере известно, что совершенно противоречит обыкновению при-

роды. Итак, если кривая *IGKFNHP* представляет собою кривую плотностей (что́ мы понимаем под этим словом с достаточной ясностью показано было выше), то для нее будет характерно, что она пересечет ось в точках *G*, *F* и *H* и что на промежуток между каждыми двумя точками пересечения будет приходиться максимальная аппликата, каковы на нашем чертеже *KL* и *MN*. Точно так же без труда можно понять, что в том случае, когда прут не достигает той длины, при которой могут возникнуть последовательные точки, может в одних случаях получиться следующее: кривая плотностей



Фиг. LXXII.



Фиг. LXXIII.

FM (фиг. LXXII) будет отличаться тем свойством, что по мере продвижения от *F* к *D* и к *E* ординаты будут постоянно возрастать и что последние ординаты *DL* и *EM*, падающие на концы, будут максимальными; но может получиться и так, что максимальные ординаты *RQ* и *NP* (фиг. LXXIII) относятся к точкам *Q* и *P*, несколько отстоящим от концов; в прутьях, имеющих длину, несколько бо́льшую, чем обычная, должно преимущественно иметь место последнее.

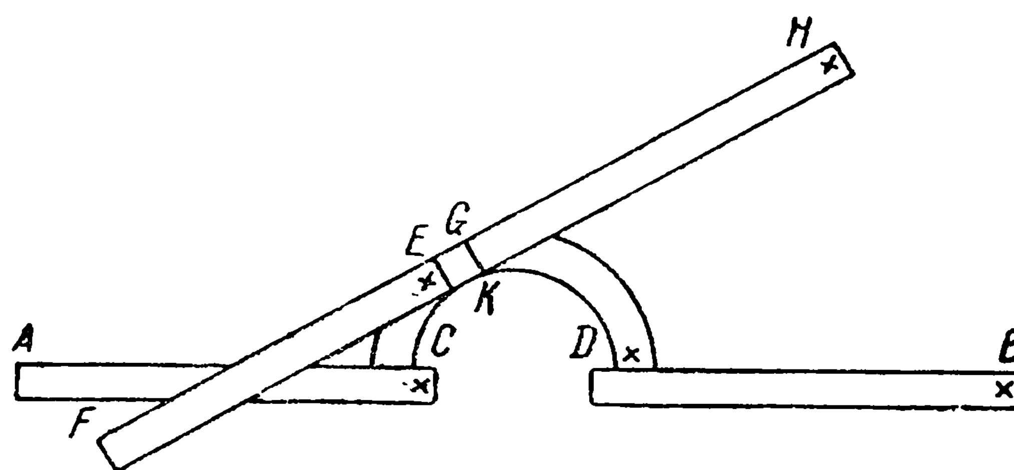
267. Легко обнаружить, что с этими рассуждениями прекрасно согласуются данные опыта. Действительно, если мы будем исследовать какой-либо намагниченный прут, имеющий два полюса, то всегда на каждом из ее полюсов найдется определенная точка, которой эта полоса сможет поднимать бо́льшую тяжесть, чем другими, и которая поэтому обладает бо́льшим магнетизмом, чем остальные. При постановке этого опыта мы заметим, что эти точки, обладающие наибольшими силами, в более коротких прутьях часто при-

ходятся на самые концы их, тогда как в более длинных они обычно отстоят на некоторое расстояние от крайних точек по направлению к середине.

268. Очень важно то, что эти наиболее магнитные точки как на магнитных стрелках (я покажу это в другом месте), так и при изготовлении искусственных магнитов, падают либо на самые концы их (если это возможно), либо, по крайней мере, как можно ближе к ним. Вполне ясно, что и в этом отношении чрезвычайно полезен способ двойного прикосновения, как бы мы ни применяли его — обычным способом или моим. Так как при этом способе постоянно имеет место стремление перегнать всю жидкость, содержащуюся в пруте, из одного конца в другой, то ясно, что при таком способе намагничивания точки наибольшего наполнения и наибольшего опорожнения должны оказаться столь близкими к концам прута, сколько только возможно; следовательно, и в этом отношении способ двойного прикосновения должен быть признан значительно превосходящим другие, обычно применяемые.

269. На этом я, пожалуй, мог бы закончить настоящее исследование о передаче магнетизма. К окончанию его меня отнюдь не побуждает скудость относящихся сюда явлений (такого рода фактов бесчисленное множество), но дело в том, что, как мне кажется, самое существенное я уже рассмотрел; я также разъяснил мою теорию достаточно обстоятельно для того, чтобы каждый из читателей мог без труда перенести ее на остальные явления. Тем не менее я считаю правильным прибавить еще несколько слов о способе наделения естественных магнитов бо́льшими силами, чем те, которые они получили от природы, и о способе изготовления изогнутых (как это обычно принято) искусственных магнитов. О наилучшем же способе делать более чувствительными магнитные стрелки, хотя и это исследование должно было бы относиться сюда, я здесь говорить не буду, так как об этом я расскажу подробнее в другом месте. Когда я хочу изго-

товить изогнутые искусственные магниты, я поступаю следующим образом, получая при этом отличные результаты. Я принимаю меры к тому, чтобы такого рода магнит имел наибольшую твердость, какую он только может иметь, а после того, как он наделен магнитной силой, я кладу его на устойчивую деревянную доску. Затем, выбрав из числа магнитных прутьев, имеющихся в моем распоряжении, ту пару, которая является самой большой и самой сильной, я подвожу эти два прута к концам магнита таким образом, который показан на чертеже (фиг. LXXIV). При этом я соблюдаю правило,



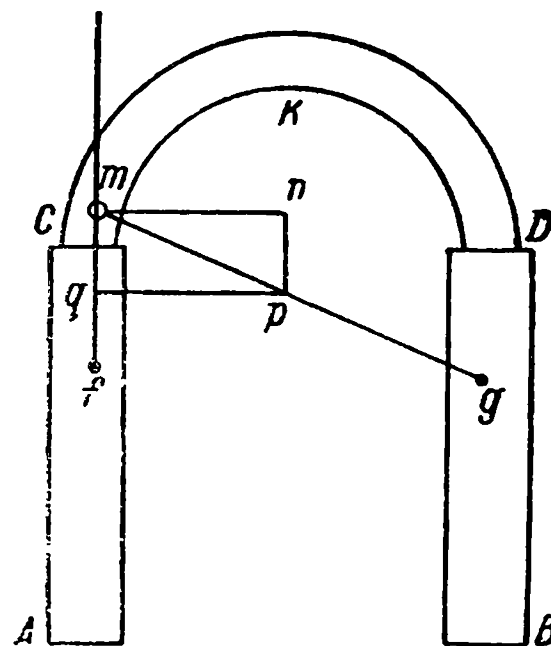
Фиг. LXXIV.

чтобы прутья *AC* и *DB* лежали по одной прямой и чтобы северный полюс прута *AC* касался того конца магнита, который дожен стать южным полюсом магнита, и наоборот, чтобы южный полюс прута *BD* был подведен к будущему северному полюсу магнита. После того, как сделано то, что я здесь рекомендую, необходимо прочно закрепить [59] и магнит и прутья *AC* и *BD*, чтобы они не могли легко выйти из этого положения.

270. Когда это выполнено, я выбираю еще другую пару самых сильных магнитных прутьев и натираю ими магнит *CKD*. При этой процедуре я применяю исправленный метод двойного прикосновения и приступаю к делу следующим образом. Прутья *FE* и *GH* я подношу должным образом к середине магнита *K*, наклоняя каждый из них, сколько только возможно, так чтобы они были почти параллельны плоскости, на кото-

рой лежит магнит; теперь, держа каждый из них так, чтобы они образовывали продолжение друг друга, я подвожу концы их E и G на расстояние одной или нескольких линий друг от друга. После этого я каждый из прутьев провожу по магниту CKD вперед и назад, согласно способу двойного прикосновения, следя за тем, чтобы полюсы E и G всегда образовывали продолжение друг друга и чтобы они были параллельны прямой, касательной к изогнутому магниту в том месте, над которым находятся концы E и G. После того как это проделано двадцать или больше раз, я довожу прутья назад до середины K, а затем убираю их.

Ту же процедуру я проделываю и над другой стороной магнита CKD, и в результате всегда получаю магнит замечательной силы.



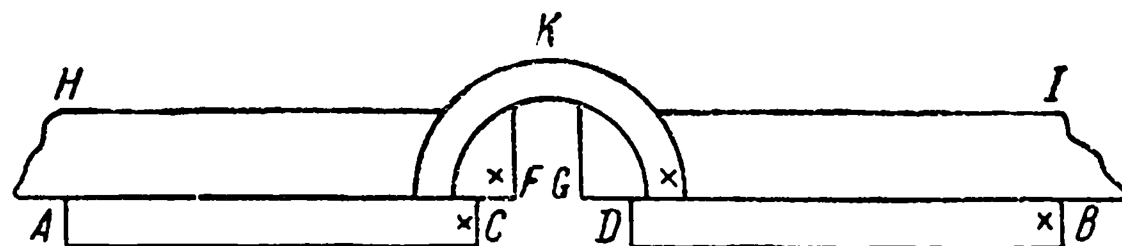
Фиг. LXXV.

271. Во всем этом способе нет ничего такого, смысл чего не был бы достаточно ясен либо сам по себе, либо из изложенного выше, за исключением одного приема, изобретенного, как я полагаю, мною, и состоящего в том, что я держу прутья AC и BD так, чтобы они составляли продолжение друг друга, а не в положении, параллельном друг другу, как это делается при применении других способов; руководясь многократными опытами, я могу утверждать, что это очень полезно. Какова же причина этого, нетрудно видеть из сказанного выше. Представим себе прутья AC и BD (фиг. LXXV), поднесенные к магниту CKD в параллельном положении; пусть, напр., C будет положительным полюсом, а D отрицательным и пусть точки средних направлений (этот термин объяснен выше)[60] падают в f и g. В этом случае ясно, что частица m магнитной жидкости, находящаяся на конце CK магнита, отталкивается положительным полюсом C к внутренним частям магнита по прямой fm, но ясно также,

что отрицательный полюс D, если он достаточно близок, производит какое-то действие на частицу m, притягивая ее. Эта вторая сила, действующая по прямой gm, может быть разложена на две силы: одна mq, имеющая направление, параллельное fm, другая mn, имеющая направление, перпендикулярное к ней; первая из этих сил противоположна действию полюса C. Поэтому отрицательный полюс D ослабляет действие, производимое положительным полюсом C, и препятствует тому, чтобы это действие имело полный успех. Но ясно, что ущерб, который, как можно опасаться, получится в результате этого, будет тем меньше, чем более угол gmf, образуемый направлениями этих сил, приближается к прямому, т. е. (что одно и то же), чем ближе будет к концу D точка g. Все сказанное верно также для отрицательного полюса D; и его действие точно так же встречает тем больше препятствий со стороны положительного полюса C, чем более удалена точка f от конца C. Однако этот недостаток легко устранить, расположив прутья AC и BD так, чтобы они лежали на одной прямой. Ясно, что в этом случае, направления, по которым действуют полюсы C и D, а именно fm и gm, прямо противоположны друг другу; поэтому они либо не причиняют друг другу никакого ущерба, либо этот ущерб будет очень незначительным.

272. Обычно делают искусственные магниты изогнутой формы столь малыми, что их неудобно натирать стальными прутьями. Такая величина обычно придается им главным образом в интересах любопытных зрителей, так как такие магниты с очень малой массой могут поднимать чрезвычайно большой груз по сравнению с их собственной тяжестью: они в силах поднять груз, превышающий в 50 раз их собственный вес, чего нельзя ожидать от магнитов большей величины. Эти магниты я прикладываю описанным выше способом к двум сильным магнитным стальным прутам AC и BD (фиг. LXXVI), лежащим по одной прямой, и оставляю их в таком положении на много часов или даже на несколько

дней. К этому обычному приему я присоединяю еще и другой, который оказался весьма полезным при изготовлении такого рода магнитов с малой массой. А именно, концы магнита я подвожу к прутьям *AC* и *BD* описанным выше образом, но одновременно я еще подкладываю под магнит пару прутьев *FH* и *GI* так, чтобы конец *KC* магнита лежал на конце *F*, а конец *KD* на конце *G*, а на магнит кладу третью пару прутьев так, чтобы конец *KC* был покрыт соответствующим полюсом первого прута, а конец *KD* соответствующим полюсом второго. В таком виде я оставляю

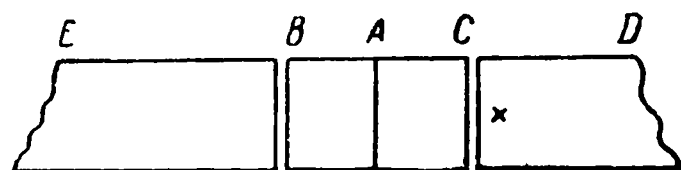


Фиг. LXXVI.

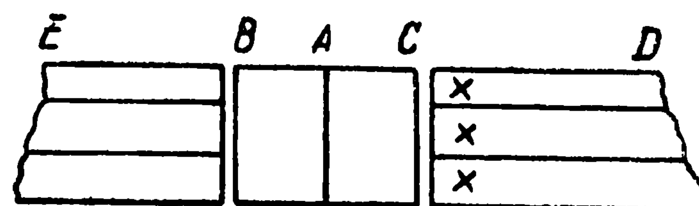
магнит на некоторое время в покое. Сходные же приемы могут быть применены (их может легко вообразить себе каждый), если приходится намагничивать железные предметы, которые либо вследствие неудобной формы, либо вследствие малого размера нельзя натирать железными прутьями по методу двойного прикосновения.[61]

273. Прекрасно известно, что естественным магнитам можно передать искусственным путем бо́льшую степень магнетизма, чем они получили от природы. Действительно, способы, преследующие эту цель, упоминаются у авторов, говорящих об искусственном магнетизме. Этим магнитам обычно придается форма параллелепипеда; часто они имеют длину, меньшую, чем та, при которой они могут быть намагничены по способу двойного прикосновения. При таком положении дел положим магнит без ярма между двумя сильно магнитными прутьями *BE* и *CD* (фиг. LXXVII) с таким расчетом, чтобы сторона *B*, которая должна стать северным полюсом, соприкасалась с южным полюсом прута *BE*, а та сторона,

которая должна стать южным полюсом, пусть соприкасается с северным полюсом второго прута *CD*. Если в нашем распоряжении нет прутьев такой величины, чтобы они могли покрыть целиком края полюсов *B* и *D*, то приложим друг к другу соответствующее количество меньших прутьев так, как изображено на фиг. LXXVIII, для того чтобы получился нужный результат. Если теперь позволит длина магнита,

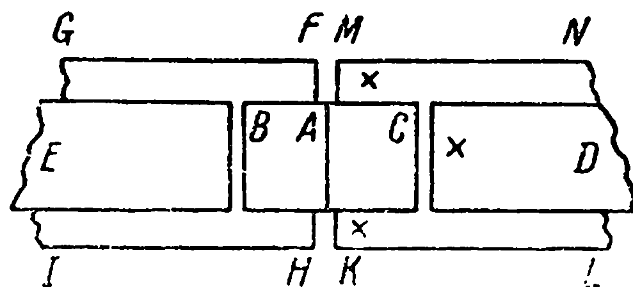


Фиг. LXXVII.

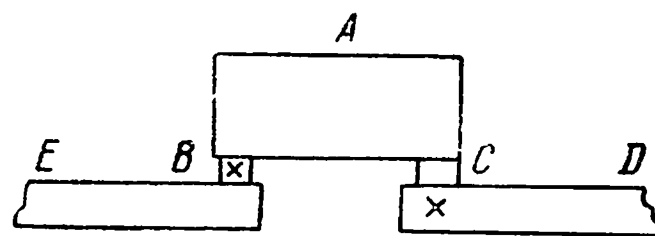


Фиг. LXXVIII.

то натрем его, применяя исправленный способ двойного прикосновения; если же его длина слишком мала, для того чтобы это можно было удобно осуществить, то получается хороший результат, если поместить его между несколькими магнитными прутьями *BE*, *GF*, *HI* и *CD*, *MN*, *KL* (фиг. LXXIX),



Фиг. LXXIX.



Фиг. LXXX.

и затем оставить его на продолжительное время в покое в таком положении. Проделав это, к магниту снова присоединяют ярмо, и затем под каждую ножку его ярма подводится по сильно магнитному пруту *BE* и *CD* (фиг. LXXX), так чтобы обе они лежали на одной прямой. В этом положении магнит надо оставить на несколько часов, так как и теория учит и опыт свидетельствует, что благодаря этому его сила очень значительно увеличивается. Я мог бы еще сказать многое, частью весьма достойное внимания и новое, о способе увеличивать силы естественных магнитов. Однако говорить об этом будет удобнее ниже.



Глава IV

О НЕКОТОРЫХ ЯВЛЕНИЯХ, ПРОИСХОДЯЩИХ В ТЕЛАХ, ПОГРУЖЕННЫХ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ И МАГНИТНЫЙ ВИХРЬ,[62] И О МАГНЕТИЗМЕ ЗЕМЛИ

274. Так как в дальнейшем мне приходится постоянно употреблять термины „электрический или магнитный вихрь" и „электрическая или магнитная атмосфера", то я считаю правильным сразу же с самого начала объяснить, в каком смысле я употребляю эти термины, дабы читатели не придали им значения, чуждого той мысли, которую я в них вкладываю. Из данных выше объяснений магнитных и электрических явлений ясно, что я никогда не рассматривал магнитную или электрическую материю как нечто, находящееся вне тел, или как нечто, окружающее их; отсюда ясно, что термины „вихрь" и „атмосфера" не употреблены здесь мною в их собственном значении. Поэтому, когда эти слова в дальнейшем будут встречаться, необходимо помнить, что с моей точки зрения этими терминами обозначается только то, что обычно называется „сферой деятельности". У меня эти слова не обозначают ничего иного, кроме пространства, на которое во все стороны доступным чувствам образом распространяется магнитное и электрическое притяжение и отталкивание вокруг какого-либо тела.

275. Некоторых читателей может неприятно поразить, что я этими словами открыто отрицаю существование электри-

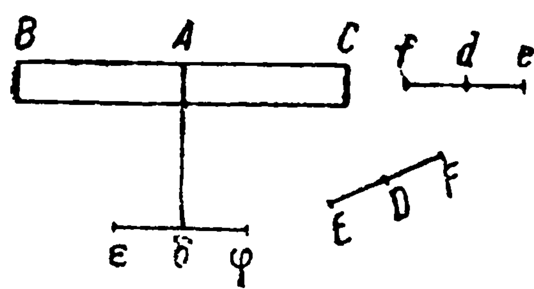
ческой атмосферы в собственном смысле слова; дело в том, что обычно трудно найти человека, который сомневался бы в существовании такого рода атмосферы; даже сам знаменитейший Франклин заявляет, что он держится такого взгляда, хотя это и противоречит его теории. Поэтому будет уместно изложить подробнее, что́ я думаю по этому вопросу. Из сказанного выше ясно, что бо́льшую часть электрических явлений, особенно же те, которые не зависят от фактического перехода материи из одного тела в другое, я вывожу из действия электрической материи, заключенной в порах наэлектризованного тела, и что я никогда не прибегаю к вихрю или атмосфере в прямом смысле этого слова. Однако же я не отрицаю, что воздух, находящийся в непосредственной близости к тому или иному положительно- или отрицательно-электрическому телу и окружающий его, будучи несовершенно электрическим по своей природе, приобретает (правда, медленно и в слабой степени и лишь на небольшом расстоянии от тела, которое он окружает) то же электричество, что и тело, к которому он прикасается. Поэтому, если кто-либо пожелает обозначить этот наэлектризованный воздух термином „электрическая атмосфера“, я не возражаю против этого, но обращаю внимание на то, что эта атмосфера играет лишь незначительную роль или не играет никакой роли в возникновении большей части электрических явлений. Это легко видеть из того, что даже если при помощи меха мы устроим постоянный ветер, удаляющий эту атмосферу от наэлектризованного тела, то, тем не менее, электрические явления будут протекать с таким же результатом, к которому они обычно приводят, если эта атмосфера спокойно окружает тело.

276. Однако эти объяснения вряд ли удовлетворят читателей, которые возразят, что я спорю против существования вещи, данной непосредственно в чувствах. Так, напр., если повернуть верхнюю сторону кисти руки в сторону наэлектризованного тела и приблизить ее к нему, то, как полагают,

уже самое ощущение прикосновения убеждает нас в существовании электрической атмосферы; действительно, ощущение, которое мы при этом получаем, чрезвычайно сходно с тем, как если бы тонкая сеточка, вроде паутины, прикоснулась к руке. Неужели же не следует считать, что это ощущение вызывается действием наэлектризованного тела как на электрическую жидкость, содержащуюся в руке, так и на самые частицы кожи? Однако если это ощущение имеет источником какую-то атмосферу, то очевидно следующее: если, став на смоляную подставку, ты подвергнешь электризации и себя самого и какое-либо другое тело, а затем поднесешь к нему руку, то должно получиться такое же ощущение, как то, которое получилось, когда ты стоял на земле. Но опыт дает результат, обратный этому: он показывает, что экспериментатор, если он стал электрическим в такой же степени, как то тело, к которому он подносил руку, вообще ничего не чувствует. Что же касается тех доводов, которые основываются на электрическом запахе,[63] ощущаемом по соседству с наэлектризованными телами, то они ничуть не более вески и вообще не имеют сюда отношения. Действительно, этот запах никогда не ощущается, до какой бы степени мы ни электризовали то или иное тело, за исключением лишь того случая, когда это тело имеет какое-либо острие или более или менее заостренную часть, выдающуюся далеко вперед, из которой вытекает или в которую втекает в форме столь известной электрической кисточки электрическая материя; следовательно, это явление нужно относить к категории тех явлений, которые имеют источником фактический переход электрической жидкости из одного тела в другое.

277. Я считал необходимым обратить на это внимание для того, чтобы моим словам не был придан превратный смысл, чуждый тому смыслу, который я в них вкладывал. После этого перейдем к тщательному исследованию явлений, которым посвящена эта глава. Представим себе, что поблизости

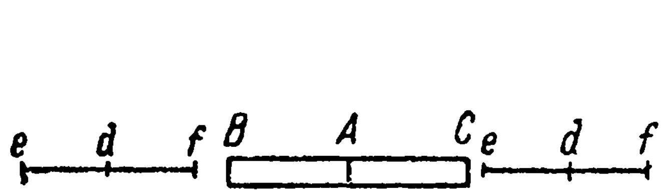
от некоторого довольно большого и неподвижного магнита *BC* (фиг. LXXXI) находится другой магнит *EF*, погруженный в вихрь первого магнита и могущий весьма свободно вращаться в любом направлении вокруг точки *D*. Примем далее, что *AB* — положительный полюс первого, а *DF* — положительный полюс второго магнита и точно так же *AC* и *ED* — отрицательные полюсы обоих магнитов. Из сказанного выше ясно, что часть *AB* действует на часть *ED*, притягивая ее, а на часть *DF*, отталкивая ее, и наоборот, часть *AC* притягивает *DF* и отталкивает *DE*. Итак, очевидно, что магнит *EF* не будет пребывать в любом безразличном положении, но всегда займет такое положение, что перечисленные только что силы притяжения и отталкивания будут находиться в равновесии.



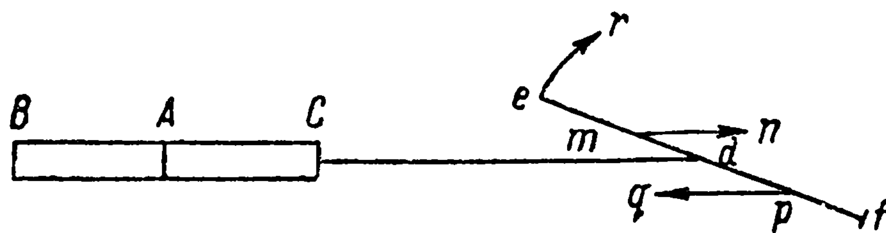
Фиг. LXXXI.

278. Отсюда легко притти и к общему заключению, что при предположенных нами условиях подвижный магнит *EF* всегда будет стремиться занять определенное положение, которое будет различным в зависимости от различного положения *EF* по отношению к магниту *CB*. Я считаю не лишним, исследовать несколько точнее различные видоизменения этого положения. Представим себе сперва, что магнит *cf* расположен так, что его центр *d* находится на оси большего магнита *BC*; при таком предположении легко убедиться в том, что в каком бы положении мы ни представили себе этот магнит, действующие на него силы не смогут притти в равновесие, если магнит *fe* не совпадет с осью магнита *BC* и явится ее продолжением по прямой; поэтому если предоставить этот магнит самому себе, то он не успокоится до тех пор, пока не займет такого положения, когда он будет лежать на одной прямой с магнитом *BC* и когда разноименные полюсы магнитов *BC* и *fe* будут обращены друг к другу.

279. Я должен признаться, что то положение, на которое я здесь указал, не является единственным, при котором силы, действующие на магнит *fe*, находятся в равновесии. Действительно, представим себе, что магнит *fe* (фиг. LXXXII) совершенно перевернулся — так, что он снова совпал с осью, но так, что теперь уже обращены друг к другу однородные полюсы магнитов *BC* и *fe*; в силу основных положений статики легко заключить, что и в этом положении силы будут находиться в равновесии. Однако я не принял в расчет этого случая, так как такое положение не может сохраниться без изменения. Действительно, примем, что магнит *ef* немного вышел из своего положения, так что он образует с осью



Фиг. LXXXII.

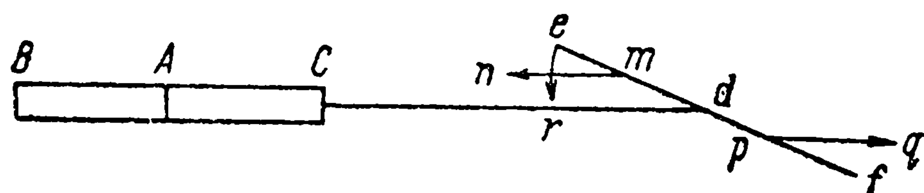


Фиг. LXXXIII.

сколь угодно малый угол. Так как магнит *BC* (фиг. LXXXIII) своим концом *C* отталкивает одноименный полюс другого магнита, а разноименным притягивает, то ясно, что он отталкивает полюс *de* в направлении *mn*, а полюс *df* притягивает в направлении *pq*. Но эти силы отнюдь не стремятся вернуть магнит в его прежнее положение, но стремятся повернуть его в направлении *er* и привести в совершенно противоположное положение. Поэтому, если далее предположить, что магнит *fe* первоначально имел такое положение, что полюс *de* был обращен к одноименному с ним полюсу магнита *BC*, то вряд ли это положение сможет сохраниться дольше, чем на один или другой миг, ибо малейшее отклонение от этого положения приведет уже к тому, что он станет непрерывно все больше и больше отклоняться, пока не займет положения, диаметрально противоположного тому, которое он занимал первоначально. Итак, ясно, что то положение, при котором одноименные полюсы магнитов *BC* и *fe* обращены

друг к другу, на практике никогда не имеет места, хотя само по себе оно возможно; поэтому и считаться с ним нам нет нужды.

280. Совершенно иначе обстоит дело в том случае, когда друг к другу обращены разноименные полюсы магнитов. Действительно, допустим опять, что магнит ef (фиг. LXXXIV) снова отклонился от положения покоя. Так как теперь его часть de притягивается обращенным к нему полюсом магнита BC, а часть df отталкивается в направлениях mn и pq, и эти силы стремятся побудить магнит ef к вращению вокруг точки d в направлении er, то он, очевидно, отталкивается в сторону своего прежнего положения, которое он поэтому тотчас же и займет. Итак, это положение оказывается единственным, которое может сохраняться. Поэтому оно является единственным, которое он может занимать в действительности. Этого достаточно, и я не хочу подробнее останавливаться на этом вопросе, который должен быть сразу же понятным и очевидным всякому, кто разобрался в началах статики.



Фиг. LXXXIV.

281. Далее представим себе, что из центра магнита BC (LXXXI), стало быть из точки A, проведена перпендикулярно к оси прямая $A\delta$ неопределенной длины и что магнит $\varepsilon\varphi$ (или EF) помещен так, что точка δ находится где-нибудь на этой прямой. Очень легко понять, что в этом случае магнит $\varepsilon\varphi$ не придет в состояние покоя раньше, чем он не займет положения, параллельного оси BC, притом так, что разноименные полюсы магнитов будут обращены друг к другу. Действительно, очевидно, что только в этом положении будет существовать равновесие сил. Правда, и в этом случае есть еще одно положение, при котором будет существовать состояние покоя, а именно то, при котором магниту $\varepsilon\varphi$ будет придано прямо противоположное направление, но для этого

положения, как это легко бросается в глаза каждому, кто поразмыслит об этом, верно все то, что было сказано в § 277.

282. Наконец, если магнит *EF* будет помещен так, что его центр окажется не на оси и не на перпендикуляре, но где-то посередине, то, очевидно, он должен принять некоторое наклонное положение по отношению к оси *BC*, так что он немного отклонится от полюса *AB*, от которого он находится на наибольшем расстоянии, и, наоборот, склонится в сторону второго полюса *AC*, к которому он ближе, и притом так, что отрицательный полюс магнита *EF* будет направлен в ту сторону, где находится положительный полюс магнита *BC*, и наоборот. Правда, и в этом случае также есть и другое положение, при котором будет иметь место состояние покоя, а именно, положение, диаметрально противоположное первому, только что описанному (это легко понять из начала статики); однако это такое положение, которое не может сохраниться, и все сказанное в § 277 относительно подобного случая, очевидно, может быть применено и к нему.

283. Хотя из изложенного выше видно, какое положение вообще должен принять подвижный магнит, предоставленный самому себе, если он находится поблизости к другому магниту, однако вполне точно установить закон, согласно которому происходят эти изменения положения магнита, не оказывается возможным. Эта теория ускользает от нас по двум причинам: отчасти потому, что, не зная функционального выражения магнитных притяжений и отталкиваний, не найденного еще до сих пор, нельзя определить этот закон; отчасти же может предоставиться бесконечное число различных случаев, бесконечное разнообразие которых препятствует установлению какого-либо общего закона. В самом деле, ясно (как я указал и выше), что не всегда положительно-магнитная сила *AB* окажется равной отрицательно-магнитной части *AC* и не всегда магнитная жидкость окажется

распределенной по частям AC и AB по одинаковому закону; поэтому в качестве шкалы плотностей может служить то одна, то другая кривая. Но очевидно, что в зависимости от этих изменений должен видоизменяться и закон для определения положения подвижного магнита EF. Поэтому ясно, что при такой изменчивости условий мы напрасно будем трудиться над нахождением постоянного закона. Сюда присоединяется еще то, что и само магнитное тело BC может иметь бесчисленные различные формы, напр. шарообразную, эллиптическую и т. д., а также и совершенно неправильную. В каждом из этих случаев, очевидно, должен получаться и другой закон для определения положения подвижного магнита. Отсюда также легко видеть, что мы напрасно стали бы надеяться на возможность найти при помощи опытов такой постоянный закон.

284. Известно, что магнитная стрелка (которую необходимо считать настоящим магнитом), будучи перенесена в различные точки земной поверхности, принимает последовательно все новые и новые положения; эти изменения ее положения будут совершенно сходны с теми, какие происходят с подвижным магнитом, когда он, будучи погружен в атмосферу большего неподвижного магнита, обводится вокруг этого магнита. Чтобы определить положение, которое магнитная стрелка сама по себе займет в любом месте, оказалось необходимым отнести ее положение к двум плоскостям, имеющим заданное и постоянное положение, так что их расположение может быть легко определено. Для этой цели были выбраны горизонтальная плоскость и плоскость меридиана, и положение магнитной стрелки так относят к ним, что исследуют угол, под которым стрелка наклонена к горизонтальной плоскости, а также угол, который образует вертикальная плоскость, проходящая через стрелку, с плоскостью меридиана. Первый из этих углов обыкновенно называется *наклонением* магнитной стрелки, а второй ее *склонением*.

285. Для нашей цели достаточно изложить лишь в общих чертах наблюдения, сделанные над магнитным наклонением и склонением. Мы должны обратить внимание преимущественно на следующее.

1) Наблюдавшееся до сих пор склонение магнитной стрелки не было ни в одном месте очень большим и никогда не превосходило 30°. Итак, магнитная стрелка ни в каких местах не отклоняется значительно от линии меридиана, но в разных местах ее склонение различно. Действительно, существуют места, в которых стрелка лежит в самой плоскости меридиана, в других местах она отклоняется на большее или меньшее число градусов то к востоку, то к западу.

2) Все точки, в которых склонение магнитной стрелки равно нулю, расположены по некоторой кривой, которая обходит земной шар в виде линии неправильных очертаний, имеющей в различных местах различную кривизну; то же верно и для мест, которым соответствует какое-либо другое определенное склонение, скажем, склонение в 5 или в 10, или в 15°.

3) Это склонение изменчиво, и оно существенно изменяется с течением времени, но пока не известно, какому закону подчиняется природа при этих изменениях. В самом деле, до сих пор не известно, только ли перемещаются указанные выше кривые как бы медленным шагом вокруг поверхности земли или же эти линии, кроме движения вперед, подвергаются еще какому-либо другому изменению, так что они, двигаясь медленным шагом, приобретают все иную и иную кривизну.

286. Что же касается магнитного наклонения, то надо особо отметить следующее.

1) У экватора оно обычно равно нулю; однако же это замечание нельзя понимать слишком строго. В самом деле, точки, в которых наклонение оказывается равным нулю, не приходятся на самый экватор земного шара, а только лежат близко к нему.

2) По мере удаления от экватора к северному полюсу земли стрелка опускает свой конец, обращенный к северу, все более и более под горизонт, так что наклонение возрастает вместе с возрастанием широты и, наконец, достигает 90°. Однако не следует думать, будто эти законы точно соблюдаются. Не всюду на одной и той же параллели наклонение одно и то же; точно так же и точка, в которой это наклонение достигает своего максимума, т. е. где стрелка стоит вертикально, не совпадает с полюсом земли, хотя и не отстоит очень далеко от него; это можно заключить из той последовательности, в которой возрастает наклонение.

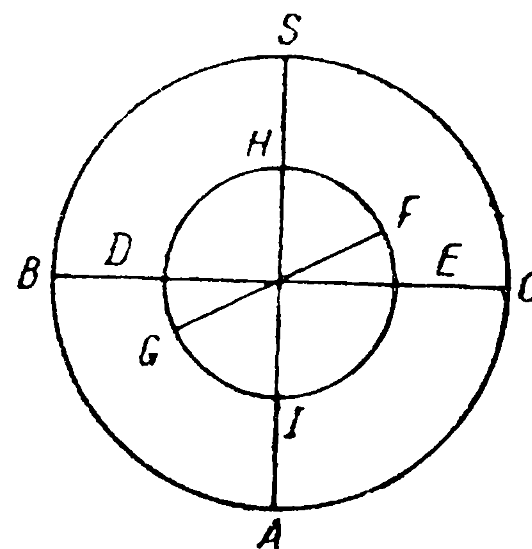
3) Совершенно то же самое верно и для конца стрелки, обращенного к югу, если передвигаться к южному полюсу.

4) Наклонение, совершенно так же, как и отклонение, в одном и том же месте не остается всегда одним и тем же, но с течением времени изменяется согласно какому-то закону, до сих пор совершенно неизвестному.

287. Если немного вдуматься в сказанное, то легко убедиться в том, что положение магнитной стрелки, переносимой в различные места земного шара, меняется по закону, весьма сходному с тем, по которому обычно происходят изменения, когда стрелка обводится вокруг неподвижного шарообразного магнита. Это послужило для некоторых древних физиков и для многих новейших поводом, позволившим им считать весьма вероятным и вряд ли подлежащим сомнению, что единственной истинной причиной существования силы, управляющей магнитом и магнитной стрелкой, является сам земной шар, наделенный магнитной силой, и то притяжение и отталкивание, которое он вызывает в магнитной стрелке, подобно тому как вызывает его неподвижный магнит в меньшем и свободно движущемся магните. Мы должны также признаться, что и нам на основании только что приведенных явлений представляется ясной правильность этого утверждения; это положение убедительно

в такой степени, что для полного доказательства его вряд ли было бы справедливо требовать еще каких-либо добавлений. Тем не менее, мое дальнейшее изложение приведет читателей к еще большей уверенности в правильности сказанного: действительно я покажу и на других магнитных явлениях, что на земном шаре можно наблюдать все то, что обычно наблюдается на магните большой величины.

288. Мы принимаем в качестве бесспорной предпосылки, что внутри земного шара заключено огромное ядро, состоящее из материи, близкой к железу, наделенное магнитной силой таким образом, что одно из его полушарий *DHE* (фиг. LXXXV) обладает положительным, а другое *DIE* — отрицательным магнетизмом, причем, однако, надо заметить, что плоскость, т. е. поверхность *DE*, которая отделяет друг от друга эти полушария, правда, находится на небольшом расстоянии от плоскости земного экватора *BC*, однако же, не вполне с ним совпадает; при этом либо форма этого ядра, либо распределение в нем магнитной материи несколько неправильное, как это легко заключить из указанных выше законов магнитного наклонения и отклонения и неправильностей, относящихся к тому и другому. Это наше предположение может, однако, вызвать несколько вопросов, ответа на которые, несомненно, будут ждать читатели от меня, поскольку мое сочинение посвящено учению о магнитах.



Фиг. LXXXV.

289. Если согласиться со мной, что ядро земли состоит из какой-то материи, близкой к железу — вероятно, из какой-либо железной руды — то может возникнуть вопрос, откуда же это ядро получило ту магнитную силу, которой оно обладает, и какова была причина, побудившая магнитную материю выйти из одного полушария и перейти в другое? Но я охотно готов

признать, что мне не известна никакая механическая причина, обусловившая возникновение этого явления, которую я осмелился бы выставить в качестве правдоподобной причины. Действительно, вполне ясно, что суточное вращение земного шара вокруг своей оси, которое можно было бы считать причиной этого явления, никак не может быть причиной, принудившей магнитную материю перейти из одного полюса к другому.

Но можно ли считать совершенно абсурдным заявление, что это явление принадлежит к числу тех, для возникновения которых неизвестно никакой механической причины и которые нужно возводить непосредственно к деятельности творца мира? Существование бесконечного числа таких явлений может отрицать только тот, кто осмелится утверждать, что весь мир возник только по законам механики без всякого участия некоего разумного существа и что бога или вообще не существует, или что он играл в создании мира лишь роль безучастного зрителя? Но не только a priori, но и a posteriori нам не известно никаких явлений, которые не свидетельствовали бы о деле премудрого творца мира.[64] Так, напр., было бы праздным трудом исследовать механическую причину того, что земной шар и остальные планеты вращаются вокруг солнца в направлении с запада на восток, а не наоборот, или того, что земной шар совершает полное вращение вокруг своей оси точно в 24 часа, или что он имеет только одного спутника, тогда как Сатурн выступает в сопровождении пяти планет: это не известно никому из тех, кто знает в совершенстве истинную систему физической астрономии, открытую Ньютоном.

290. Отсюда возникает новый вопрос: какой надо считать ту целевую причину, которая могла побудить бога снабдить земной шар магнетизмом? Ибо когда речь идет о явлениях, зависящих не только от механических причин, приходится обращаться к целевой причине, а не к действующей причине.[65] Но и в этом случае читатели убедятся, что я опять открыто признаюсь в своем незнании. Действительно, маг-

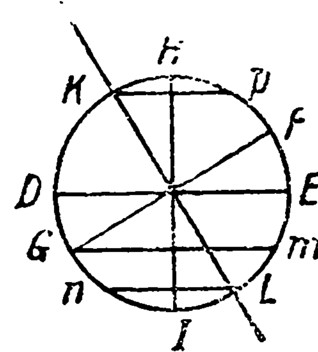
нитная сила, которой обладает земной шар, приносит большую пользу роду человеческому, поскольку она — причина существования силы, управляющей магнитной стрелкой, которая, подобно персту божию (как выражается Гильберт), указует путь чрез моря. Тем не менее, я не решаюсь признать человека первоцелью создания магнетизма. Во-первых, в течение многих веков применение магнитной стрелки оставалось неизвестным; следовательно, придется признать, что это замечательное свойство земного шара столь долго оставалось бесплодным; во-вторых, такой взгляд, повидимому, основывается на мнении, будто вселенная создана на потребу человека; однако эта теория, принимаемая без ограничений, уже запятнала многочисленными заблуждениями ту благороднейшую часть физики, которая говорит о цели вещей.

291. Однако хотя я и считаю, что для установления той причины, которая впервые сообщила магнетизм земному шару, необходимо прибегнуть к премудрой воле и всемогущему действию творца, но дело обстоит совсем по-иному, когда приходится ответить на вопрос, почему ни магнитное склонение, ни магнитное наклонение никогда не остается в одном и том же месте одним и тем же, но, наоборот, медленно и непрерывно изменяется, ибо было бы нелепостью отсылать в этом случае к непосредственной деятельности творца. Хотя в общем и ясно, что земное магнитное ядро подвержено некоторому изменению, хотя и медленному, но непрерывному; однако я не решаюсь определить, состоит ли это изменение в изменении формы ядра или в изменении распределения магнитной материи по каждому из его полушарий, или в изменении положения всего ядра по отношению к остальным частям земного шара, ни какова причина этих изменений. Гениальнейший Галлей держится того взгляда, что магнитное ядро земли непрерывно и медленно изменяет свое положение по отношению к земному шару;[66] должен признать, что эта гипотеза, повидимому, очень хорошо

согласуется с поставленными до сих пор наблюдениями. Тем не менее, я затрудняюсь присоединиться к этому взгляду Галлея, так как я считаю поставленные до сих пор наблюдения недостаточными для того, чтобы совершенно устранить всякие сомнения. Действительно, если бы было определенно известно, что кривые, о которых я сказал в § 285, пункт 2, остаются всегда одними и теми же и не подвержены никакому изменению, не считая лишь того, что они медленно движутся вокруг поверхности земли, то я, не колеблясь, перешел бы в число последователей Галлея: но, как я уже указал выше, еще не доказана надлежащим образом правильность этого утверждения, но возможно, что самое очертание этих кривых подвержено изменениям. А если окажется верным последнее, то, очевидно, отсюда можно будет заключить, что само ядро подвержено медленным изменениям и в отношении формы и в отношении распределения по нему магнитной материи.

292. Поскольку дело столь неясно, мне кажется, что я выберу более правильный путь, если воздержусь пока от высказывания своего взгляда и оставлю в удел векам, следующим за нашим веком, собрать достаточное количество наблюдений и после этого притти к несомненному выводу. Когда-то я, правда, думал, что причиной этих изменений может быть движение земли вокруг оси. Действительно, пусть *GDHF* (фиг. LXXXVI) — то полушарие, в котором имеется избыток магнитной материи, а *GIEF* — то, в котором его недостаточно; примем, что земной шар вращается вокруг оси *HI*, не совпадающей с магнитной осью. Как мне казалось, это то же самое, как если бы мы представляли себе, что земной шар находится в покое, а одна из частиц магнитной жидкости, напр. *G*, хотя и заключена в земном ядре, но стремится двигаться по параллели в направлении, противоположном движению земли. Если мы представим себе, что все частицы магнитной жидкости, заключенные в ядре, обладают таким стремлением двигаться по кругам, парал-

лельным экватору, то отсюда будет следовать, что и все полушарие *GDHF*, как и все полушарие *GIEF* получит медленное движение вокруг оси *HI*, а магнитные полюсы *K* и *L* будут медленно вращаться вокруг полюсов *H* и *I* суточного вращения по кругам *Kp* и *Ln*, постоянно устремляясь с востока на запад. Хотя эта гипотеза казалась мне сначала и изящной и достаточно правдоподобной, однако впоследствии, после более глубокого рассмотрения ее, я снова от нее отказался. Действительно, ясно, что эта теория верна только в том предположении, что частицы магнитной жидкости находятся в состоянии покоя и не участвуют в движении остальных частей земного шара. Ведь если бы они стремились двигаться в том же направлении и с тою же быстротой, как и остальные частицы, составляющие земной шар, то ясно, что они не обладали бы никаким стремлением проходить через поры магнитного ядра в направлении, противоположном суточному движению. Но не может быть никакого сомнения в том, что все частицы магнитной жидкости стремятся двигаться с такой же скоростью, как и прочие части земного шара, с запада на восток; ведь если бы даже премудрому создателю и не угодно было сообщить им с самого начала такое же движение, как и остальным частям земного шара, то, как это явствует из начал механики, в течение стольких веков они бы уже давно, а вернее, уже с самого начала, должны были бы получить общие всем телам движение и скорость. По этой же причине никогда не наблюдается, чтобы шар, отполированный самым лучшим образом, будучи положен на горизонтальную плоскость, также отполированную наилучшим образом, сам по себе стал бы двигаться с востока на запад, а это должно было бы случиться, если бы шар не стремился двигаться с востока на запад с той же скоростью, как и остальные точки поверхности земли.

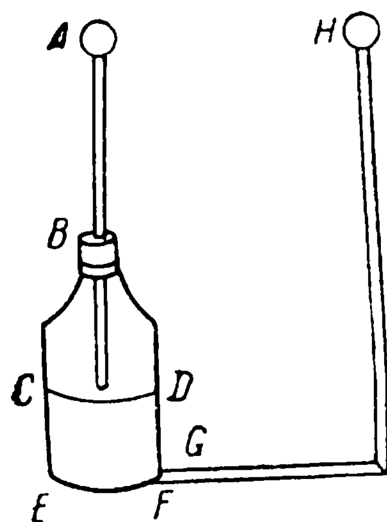


Фиг. LXXXVI.

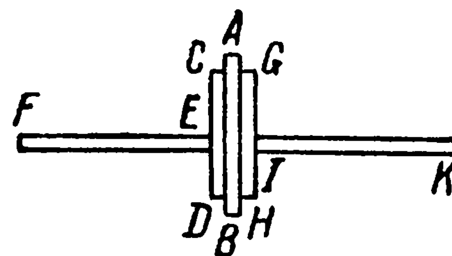
293. Отсюда ясно, что сила, управляющая магнитом и магнитной стрелкой, должна с наибольшей вероятностью считаться явлением вторичным, вполне зависящим от магнитной силы, присущей ядру земного шара. Если же у читателей остались еще сомнения в существовании такого рода магнитного ядра, то я уверен, что совершенно рассею их в дальнейшем изложении. Пока же перейдем к другим вопросам. Я до сих пор ничего не сказал о явлениях, наблюдаемых в наэлектризованном теле, смежном с другим наэлектризованным телом. Хотя по этому вопросу я могу сказать лишь немного, но не следует совершенно пренебрегать сравнением электрических явлений с магнитными. Итак, представим себе, что некоторое тело BC наэлектризовано так, что часть AB положительно-электрическая, а часть AC отрицательно-электрическая. Пусть поблизости к нему находится другое наэлектризованное тело EF, могущее свободно вращаться в любую сторону вокруг точки D; часть ED этого тела отрицательно-электрическая, а часть DF положительно-электрическая. Так как в этом случае законы, которым следует электрическое притяжение и отталкивание, совершенно сходны с законами магнитных действий, то очевидно, что все то, что было сказано в §§ 275—281 о положении, которое должно занять тело EF в зависимости от различного положения по отношению к телу BC, если тела BC и EF — магнитные, будет верно и для того случая, который мы здесь рассматриваем. Поэтому нет никакого сомнения, что и в этом случае электрические явления согласуются с магнитными; если бы земной шар был бы электрическим (подобно тому как в действительности он магнитный),[67] то можно было бы изготовить электрическую стрелку, показывающую определенное направление, подобно тому как мы обычно изготовляем магнитные стрелки.

294. Это ясно само по себе, и нет нужды обращаться к помощи опыта. Действительно, опыты, которые нас обучают лишь тому, о сущности чего в достаточной мере известно

уже из других источников, следует считать праздными развлечениями. Но тот, кто захочет во что бы то ни стало убедиться собственными глазами в правильности сказанного, сможет поступить следующим образом. Возьмем тонкостенную стеклянную банку *BCDEF* средней величины с узким горлышком (фиг. LXXXVII). Обложим ее снаружи до уровня *CD* металлическими листами, а изнутри до того же уровня наполним ее водой. Далее в отверстие *B* банки пропустим железную проволоку *AB*, и пусть ее конец возвышается приблизительно на фут над банкой, а к нему пусть будет прикреплен свинцовый шарик *A*. Далее, прикрепим к внешней поверхности банки изогнутую проволоку *GH*, достигающую та-



Фиг. LXXXVII.



Фиг. LXXXVIII.

кой же высоты, как и первая проволока, и на ее конце также поместим свинцовый шарик *H*. Далее, изготовим другой маленький прибор *FEAIKB* (фиг. LXXXVIII) следующим образом. К тонкой стеклянной квадратной пластинке *AB*, сторона которой равна примерно 2 дюймам, приделаем с обеих сторон по металлической пластинке *CD* и *GH*, каждая из которых немного меньше пластинки *AB* и не покрывает ее целиком, но оставляет вдоль всей ее периферии непокрытый край. К каждой из этих двух пластинок прикрепим по металлической проволоке *FE* и *IK*; подвесим этот прибор на шелковых нитях таким образом, чтобы он мог свободно поворачиваться в любом направлении.

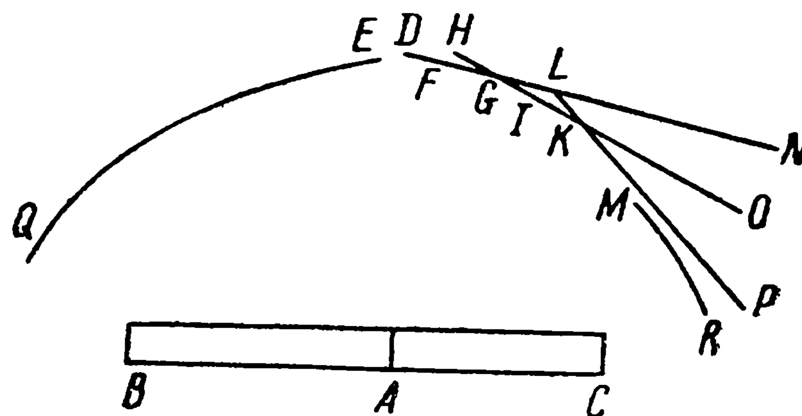
295. Если мы пожелаем поставить опыт с помощью инструментов, изготовленных, как было указано выше,

то надо действовать следующим образом. Наполним сначала банку *BCDEF* электричеством по обычному способу, а затем поставим ее на стеклянную подставку и предоставим самой себе. Как известно, в этом случае проволока *BA* и шарик *A* будут положительно-электрическими, а шарик *H* вместе с поддерживающей его проволокой *GH* — отрицательно-электрическим. Далее, наэлектризуем проволоку *IK* маленького прибора *FEAIKB*, а на другой проволоке *FE* в то же время будем держать руку; ясно, что, поскольку в основном этот маленький прибор представляет собою лишь некоторую разновидность Лейденской банки, то, будучи подвешенным, он придет в такое состояние, что проволока *IK* получит положительное, а проволока *FE* отрицательное электричество. Если теперь этот неоднократно упомянутый свободно подвешенный маленький прибор пододвинуть к банке *BCDEF* или, вернее, к шарикам *A* и *H*, которые в этом случае заменяют собою полюсы, то этот прибор будет стремиться занять положения, вполне сходные с теми, какие обычно принимает магнитная стрелка, находясь вблизи другого неподвижного магнита.

296. Выше мы изложили, что должно случиться с магнитом, который находится поблизости от другого магнита; теперь же мы рассмотрим и некоторые другие явления, которые возникают, если тела, не намагниченные, но восприимчивые к магнетизму, напр. мягкое железо, подносятся к магниту. На основании предыдущей главы легко ответить на этот вопрос; так, из сказанного ясно, что железо *FE* (фиг. LXXXI), помещенное вблизи магнита *BC*, через короткое время должно само стать магнитным, причем будет в силе то правило, согласно которому конец *DE*, обращенный к положительному полюсу *AB* магнита, окажется отрицательно-магнитным, а другой конец *DF*, обращенный к отрицательному полюсу *AC* магнита, окажется положительно-магнитным. Итак, если железо *EF* будет так подвешено, что оно сможет свободно поворачиваться, то для него будет

верно все то, что я выше сказал о магнитной стрелке и положении, которое она принимает, находясь вблизи другого магнита.

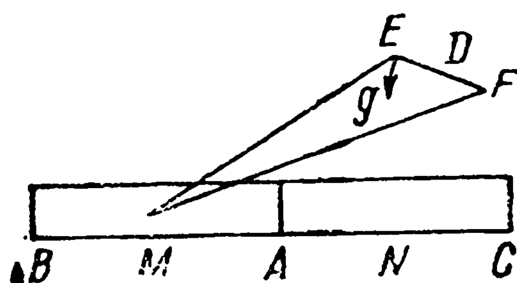
297. Представим себе теперь, что магнитная стрелка или вместо нее какой угодно продолговатый железный предмет *EF* (фиг. LXXXIX), могущий свободно вращаться вокруг точки *D*, помещен поблизости от магнита *BC*; представим себе также, что эта стрелка *EF* очень короткая, так что ее длину можно считать равной нулю. Пусть эта стрелка, когда ее центр находится в *D*, принимает такое положение, что она совпадает с прямой *EN*. Предположим теперь, что эта стрелка подвинулась по линии *EN* на бесконечно малое расстояние к *N*, так что центр ее попал в *G*; поскольку в этом случае ее конец *F* несколько придвинется к полюсу *AC*, а ее конец *E* несколько отодвинется от другого полюса *AB*, ее положение должно немного измениться таким образом, что теперь она получит положение *HI* и совпадет с прямой *HO*, образующей бесконечно малый угол *EGH* с прямой *EN*. Если, далее, центр стрелки снова продвинется по прямой *HO* настолько, что ее центр придет в *E*, опять произойдет в ней то же самое, и стрелка получит такое положение, что совпадет с прямой *LP*, образующей с прямой *HO* бесконечно малый угол. Такое положение будет иметь место постоянно, независимо от того, перемещается ли центр стрелки к *B* или к *C*; поэтому очевидно, что ее центр опишет некоторую кривую *QFGMR*, обладающую тем свойством, что в каком бы месте ее ни находился центр стрелки, стрелка сама по себе расположится так, что совпадет с касательной к этой кривой.



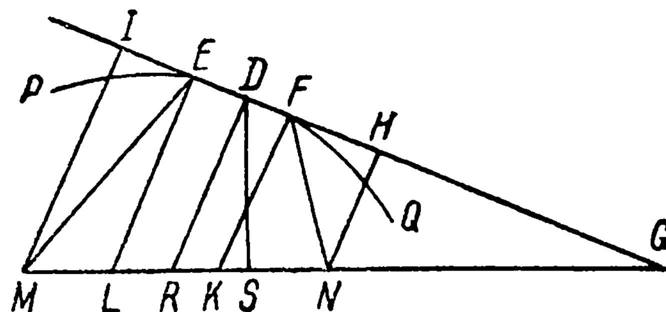
Фиг. LXXXIX.

298. Трудно или, вернее, говоря по правде, совершенно невозможно определить, какова эта кривая, ибо, во-первых,

нам не известно функциональное выражение этих притяжений и отталкиваний, а во-вторых, форма магнита BC и распределение по нему магнитной материи настолько различны, что создают бесконечное число неправильностей в этих кривых. Но чтобы не столько показать, сколько дать понять в общих, чертах, какова природа этой кривой, представим себе, что вся сила как в положительном полюсе AB (фиг. XC), так и в отрицательном AC сосредоточена в точках M и N и что силы, с которыми действуют эти точки — как силы притяжения, так и силы отталкивания — равны друг другу; исследуем, чтó должно произойти, если принять это произ-



Фиг. XC.



Фиг. XCI.

вольное предположение. Если мы теперь рассмотрим то действие, которое точка M оказывает на стрелку EF, то станет ясно, что она притягивает конец стрелки E, а другой конец — F отталкивает в направлениях ME и MF. Эти два действия стремятся к одному и тому же результату — повернуть стрелку в направлении Eg. Следовательно, эти действия мы можем заменить одной силой, приложенной в точке E и толкающей точку E в направлении к M. Сказанное верно полностью и в отношении действия точки N, откуда и эти силы можно рассматривать как одну силу, приложенную к точке F и толкающую стрелку к N. Если мы теперь представим себе (фиг. XCI), что точка E бесконечно малого рычага EF испытывает толчок в направлении EM, а точка F — в направлении FN, то станет ясно, что эти силы, которые действуют наклонно к направлению рычага, могут быть разложены, первая — на силу, влекущую в направлении EI, параллельном

рычагу, а другую — в направлении EL, перпендикулярном к рычагу; вторая же — на силу, влекущую рычаг в направлении, параллельном ему, FH, и перпендикулярном ему, FK. Из этих сил те, которые тянут в направлениях EI и FH, уничтожатся, так как мы рассматриваем точку D как бы неподвижной; поэтому для определения положения рычага следует считаться только с силами, действующими в перпендикулярных направлениях EL и FK. Ясно, что рычаг должен занять такое положение, чтобы сила, влекущая по направлению к EL, была равна другой, влекущей по направлению к FK.

299. Теперь вообразим себе, что силы, с которыми действуют точки M и N, обратно пропорциональны расстояниям ME и NF; если мы NS назовем x, DS назовем y, а MN назовем a, то вследствие бесконечно малой величины рычага FE, сила, действующая в направлении EM, будет равна $\frac{1}{\sqrt{(a-x)^2+y^2}}$, а сила, влекущая точку F в направлении FN, будет равна $\frac{1}{\sqrt{x^2+y^2}}$. Но поскольку сила, действующая в направлении FN, так относится к силе, действующей в направлении FK, как FN к NH, то сила, влекущая в направлении FK, равна $\frac{NH}{x^2+y^2}$. Но поскольку, далее, как это ясно из изложенного выше, EF или IG есть касательная к кривой PDQ, то $DG : DS$, т. е. $EF : dy = NG : NH$, откуда мы получим, что $NH = \frac{ydx - xdy}{EF}$;[68] поэтому сила, действующая в направлении FK, окажется равной $\frac{ydx - xdy}{EF(x^2+y^2)}$. Рассуждая совершенно таким же образом, получим, что сила, действующая в направлении EL, равна $\frac{ydx - xdy + ady}{EF[(a-x)^2+y^2]}$.

300. Отсюда мы получим для нахождения кривой PDQ уравнение $\frac{ydx - xdy}{x^2+y^2} = \frac{ydx - xdy + ady}{(a-x)^2+y^2}$; по приведении членов

получается:

$$\begin{matrix} + \ ay\,dx - ax\,dy \\ -2xy\,dx + x^2\,dy \\ -y^2 dy \end{matrix} = 0.$$

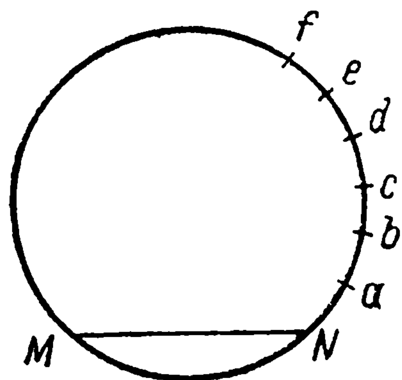
Чтобы найти интеграл этого уравнения, примем $x = zy$; сделаем подстановку, и уравнение преобразуется в

$$\begin{matrix} + ay^2\,dz & -y^2 z^2\,dy \\ -2y^3\,zdz & -y^2\,dy \end{matrix} = 0;$$

по разделении на y^2 оно приводится к виду

$$\begin{matrix} + adz & -z^2\,dy \\ -2yz\,dz & -\ \ dy \end{matrix} = 0,$$

интеграл которого $az - yz^2 - y = \text{const}$, которую мы обозначим через β; подставив обратно значение $x = zy$, получим, наконец, $ax - x^2 - y^2 = \beta y$.



Фиг. XCII.

301. Итак, если принять наше произвольное предположение,[69] то кривая PDQ будет кругом. Но так как в разобранной нами задаче β остается совершенно неопределенным, то этот результат показывает, что мы можем придать ему любое значение по нашему усмотрению, вследствие чего будет получаться каждый раз другой круг; нашей задаче удовлетворяет любой круг, описанный любым радиусом, лишь бы он был не меньше половины MN и лишь бы круг проходил через точки M и N. То, что все эти круги пройдут через M и N, ясно из того, что, если положить $y = 0$, x будет либо равно 0, либо равно a.

302. Итак, представим себе, что какой угодно круг проведен через точки M и N (фиг. XCII) и что вдоль окружности этого круга расположены очень короткие магнитные стрелки, касающиеся друг друга своими концами, ab, bc, cd, de и т. д. Очевидно, любая из них расположится так, что коснется круга или совпадет с его окружностью. Но так как эти

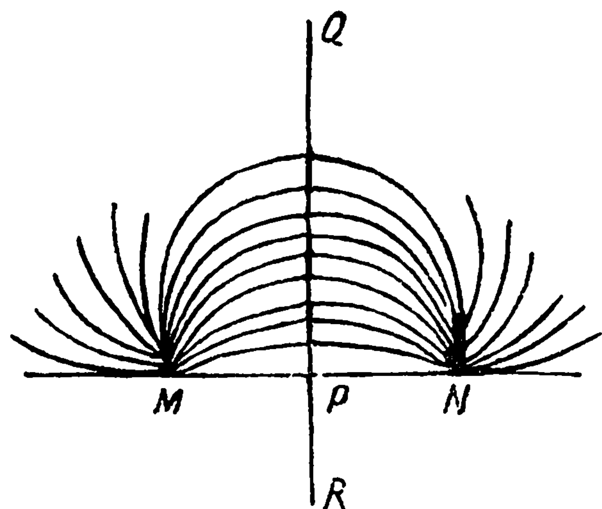
стрелки касаются друг друга своими разноименными полюсами, то они будут держаться друг за друга и образуют непрерывную кривую. То же будет иметь место, если вместо магнитных стрелок возьмем железные проволоки, не наделенные магнитной силой; находясь поблизости от магнитов, они тотчас же превратятся в настоящие магниты, т. е. в магнитные стрелки.

303. До сих пор я исходил из предположения, что центры стрелок или проволок *ab*, *bc*, *cd* и т. д. укреплены неподвижно, но достаточно того, чтобы они лежали на несколько шероховатой плоскости, испытывая некоторое трение, и будут иметь место совершенно сходные явления. Действительно, вследствие трения, оказывающего сопротивление движению такого рода частице, как, напр., *de*, *ef* и т. д., она не может фактически притягиваться или, вернее, двигаться в направлении точек *M* и *N*. Однако сила, исходящая из точек *M* и *N*, может, тем не менее, быть достаточной для того, чтобы придать частице такое положение, какое она имела бы, если бы могла свободно вращаться вокруг своего центра. Чтобы помочь частицам достигнуть такого расположения, надо слегка потрясти плоскость, на которой они лежат; тогда они подпрыгивают в воздух и в то время, как они находятся в воздухе, сразу же принимают должное положение; падая же сразу после этого назад на плоскость, они затем сохраняют это положение.

304. Итак, если мы представим себе, что плоскость, на которой находятся точки *M* и *N*, усыпана железными опилками или железной пылью и что эта плоскость медленно встряхивается, то, очевидно, частицы этой пыли зацепятся друг за друга и образуют нити; так как при этом каждая частица так расположится, что будет находиться на окружности некого круга, проходящего через точки *M* и *N*, то они образуют бесчисленные кругообразные кривые такого рода, направляющиеся из точки *M* к *N* и на себя замыкающиеся. Чтобы дать хоть какое-нибудь представление, какой

это должно иметь вид, представим себе, что прямая MN (фиг. XCIII) разделена пополам в точке P и что через точку P проведен перпендикуляр QPR неопределенной длины. Будем рассматривать эту прямую как геометрическое место центров бесчисленных кругов, проходящих через точки M и N; железные опилки расположатся по тем бесчисленным кругам, которые изображены на чертеже, причем радиусы, из которых наименьший MP, растут до бесконечности.

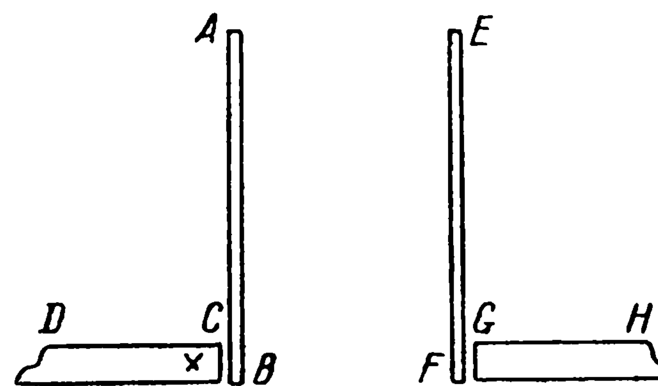
305. Так как сила точек M и N по мере удаления от них непрерывно уменьшается, то очевидно, что частицы железной пыли, лежащие на более значительном расстоянии от точек M и N, вряд ли могут под действием силы, исходящей из этих точек, располагаться должным образом; отсюда следует, что указанные выше круги, особенно же те, которые имеют сравнительно большой радиус, не могут быть видны на всем своем протяжении, но с достаточной отчетливостью обозначатся лишь части их окружностей, близкие к точкам M и N; частицы же железной пыли, далее отстоящие от этих точек, не могут принять надлежащее положение под действием силы, исходящей из полюсов M и N, и поэтому должны пребывать беспорядочно рассеянными.



Фиг. XCIII.

306. Те линии, которые образуются железными опилками, рассеянными вокруг магнита, не вполне совпадают с описанными здесь кругами. Ведь мы исходили из произвольного предположения, будто сила, исходящая из точек M и N, уменьшается обратно пропорционально расстояниям, а я не утверждаю, что это именно тот закон, которому следуют магнитные действия. Но всякий, кто внимательно обдумает этот вопрос, без труда заметит, что хотя функциональная зависимость, согласно которой происходят магнитные

действия, не совпадает с принятым нами законом, а какая-то иная, тем не менее, отсюда следует только то, что кривые, по которым располагаются железные опилки, не представляют собою в точности окружности круга, а являются кривыми другого рода.[70] Что же касается всего остального, то ясно, что будет иметь место все то, о чем мы говорили, каково бы ни было функциональное выражение магнитных действий. В действительности железные опилки образуют бесчисленные кривые, сходные по виду с эллипсами, т. е. овальные или другие замкнутые кривые того же типа, проходящие через точки M и N. Теперь ясно на основании сказанного выше, каким образом можно из законов магнитных притяжений и отталкиваний вывести то правильное расположение железных опилок, рассыпаемых вокруг магнита, которому так изумлялись естествоиспытатели, причем бо́льшая часть их считала (как я полагаю, ошибочно) существование этих линий очевидным доказательством существования настоящего магнитного вихря, т. е. потока магнитной материи, постоянно движущегося от одного из полюсов к другому.



Фиг. XCIV.

307. Чтобы быть уверенным в соответствии изложенной выше теории с природой на основании данных опыта, я прикреплял к деревянной доске расположенные вертикально железные проволоки AB и EF (фиг. XCIV) на расстоянии примерно в 2 дюйма одну от другой. Эти проволоки имели диаметр основания приблизительно в 1 линию, а длину в полфута. К их нижним концам, прикрепленным к доске, я подносил два стальных прута DC и GH, обладающих большой и, поскольку возможно, одинаковой магнитной силой, так чтобы северный полюс C первого прута прикасался к проволоке AB, а южный полюс G второго прута прикасался к про-

волоке EF. Из сказанного выше ясно, что в этом случае конец A должен получить силу северного полюса, а конец E — силу южного полюса. После этого я клал на концы A и E проволок лист тонкой бумаги; затем по этому листу я рассыпал железные опилки, и замечал, что после нескольких встряхиваний они располагались сами по себе совершенно так, как требовала теория. Действительно, все линии, которые они образовывали, были овальными, замкнутыми, проходящими через те точки бумаги, под которыми находились концы проволок A и E; если можно доверять свидетельству глаз, они незначительно отличались от кругов. Однако я не делаю из этого никаких выводов для установления закона магнитных действий, так как должен признать, что в таких случаях зрение очень обманчиво.

308. Мне удалось достигнуть того согласия с теорией, к которому я стремился, благодаря только что описанному способу постановки опыта, так как он с достаточной точностью удовлетворял тем предпосылкам, на которых была основана изложенная выше теория. Хотя, конечно, концы проволок A и E не могут считаться в точном смысле слова теми точками, из которых исходит магнитная сила, но, во всяком случае, магнитная сила сосредоточена здесь на достаточно узком пространстве для того, чтобы эти явления не могли чересчур ощутительно отличаться от тех, которые происходят, когда магнитная сила исходит из неделимых точек. Обычно же, как это бывает в магнитных стальных прутах, магнитная сила разлита на большом пространстве, вследствие чего в этих случаях кривые сообразно с условиями опыта то больше, то меньше отступают от закона, предписанного теорией. Однако же не может быть речи о том, что эти отступления противоречат нашей теории; наоборот, поскольку причина их вполне очевидна, они могут служить для ее подтверждения.

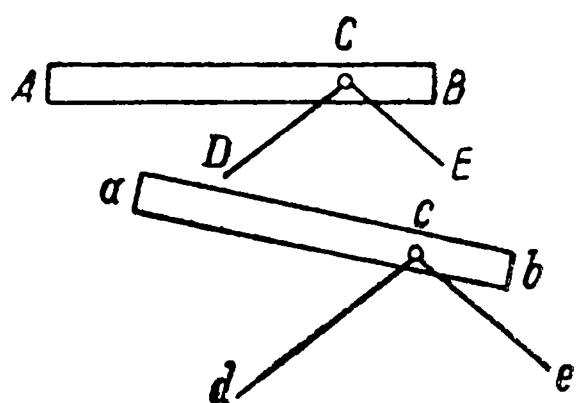
309. Кто правильно понял изложенное выше, будет в состоянии понять не только причину образования тех кривых,

которые видны на железных опилках, рассыпанных вблизи магнита, но и сможет без труда перенести те основные положения, которыми я здесь пользовался, на другие случаи; в то же время он поймет, что эти явления убедительно объясняются только из магнитного притяжения и отталкивания и что для их объяснения нам нет нужды (как полагали очень многие) в магнитном вихре в собственном смысле этого слова или в жидкости, которая фактически течет от одного полюса к другому. Итак, теперь перейдем к рассмотрению нескольких других явлений. Мы уже много раз отмечали, что любой железный предмет, помещенный поблизости от магнита, сразу же сам становится магнитным, причем соблюдается правило, согласно которому любой его конец получает магнетизм, противоположный тому, которым обладает полюс, обращенный к нему. Поэтому, если верно наше предположение о существовании магнитного ядра, заключенного в земном шаре, необходимо, чтобы то же самое явление имело место и в земном шаре и чтобы железные прутья, удерживаемые в определенном положении, сами по себе приобретали магнетизм, созданный действием центрального магнита.

310. Прекрасно известно, что дело обстоит именно так. Уже давно установлено, что в том случае, когда немагнитный железный прут расположен либо перпендикулярно, либо наклонно к горизонту, он приобретает магнитную силу. При этом наблюдается следующее: если опыт поставлен в северных районах земного шара, то нижний конец прута отталкивает северный конец магнитной стрелки и притягивает южный. Противоположный результат получится, если опыт производить в южном полушарии земли. Я не буду подробно останавливаться на относящихся сюда опытах; в этом нет нужды, так как это дело общеизвестное.

311. Опыт показывает, что количество магнитной силы, которую передает земной шар железным прутьям, изменяется в зависимости от различного положения прута, так

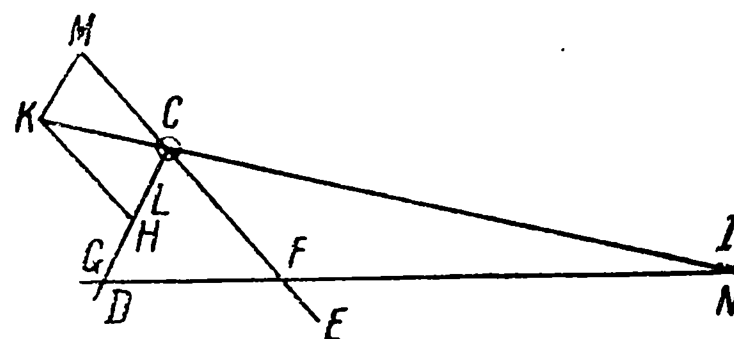
что оно то больше, то меньше; более того, существует и такое положение, находясь в котором прут вовсе не получает магнитной силы; причина этих явлений вообще совершенно ясна из теории. Дело представляется нам вполне достойным того, чтобы подвергнуть его более тщательному рассмотрению. Но прежде чем начать это исследование, необходимо предпослать ему некоторые соображения, которые расчистят нам путь для дальнейшей работы. Представим себе железный прут *AB*, пребывающий неизменно в положении, изображенном на фиг. XCV. Вполне ясно, что какая-либо частица содержащейся в нем магнитной жидкости, как, напр., *C*, отталкивается положительным полюсом земного ядра и притягивается отрицательным, причем мы примем, что первое из этих действий происходит по прямой *CE*, а второе — по прямой *CD*. Представим себе теперь, что прут *AB* перенесен в другое место, отстоящее от первого на тысячу или на несколько тысяч футов, и что его положение так или иначе изменилось, так что он теперь занял положение *ab*; далее, поскольку и длина прута *AB* и расстояние между местами *AB* и *ab* по сравнению с земным шаром, имеющим огромную величину, могут считаться как бы бесконечно малыми, ясно, что, после того как прут будет перенесен в положение *ab*, силы, действующие на частицу *c* (именно сила отталкивания, действующая в направлении *ce*, и сила притяжения, действующая в направлении *cd*), развивающие свое действие по прямым *cd* и *ce*, параллельным прямым *CE* и *CD*, будут иметь ту же величину, что и силы, соответствующие прежнему положению *AB*. Это очевидно само по себе, ибо ясно, что частица магнитной жидкости будучи перенесена из *C* в *c*, лишь бесконечно мало меняет свое положение по отношению к полюсам земного ядра,



Фиг. XCV.

вследствие чего как направление, так и количество каждой силы может измениться лишь на бесконечно малую величину.

312. Итак, поскольку для каждой точки земной поверхности вместе с достаточно обширным пространством, окружающим ее, заданы и по количеству, и по направлению силы, действующие на находящуюся там частицу магнитной жидкости, предположим, что C (фиг. XCVI) и есть такая частица, которую положительный полюс земного ядра отталкивает в направлении CE или CM, а отрицательный притягивает в направлении CD. Пусть GN — горизонтальная прямая, пересекающая направление каждой силы в точках F и H, и пусть количества каждой из сил, действующих на частицу C, выражаются прямыми CL и CM; пусть будут даны не только прямые CL и CM, но и углы CFG и CHG. Обозначим прямую CM буквой M, CL буквой N, угол CFG буквой μ и CHG буквой ν. Дополним на чертеже прямые MK и KL параллелограмма $CMLK$ и проведем его диагональ CK, которая при продолжении сойдется с горизонтальной прямой GN в точке I. Ясно, что две силы, действующие в направлениях CM и CL, как бы срастутся в одну, движущую частицу C в направлении CK с силой, пропорциональной диагонали CK. Назовем прямую CK буквой A, а угол CIG, который продолжение этой прямой образует с горизонтальной прямой, буквой α. Так как при таких обозначениях угол KCL равен $\nu-\alpha$, а HCF, или KLC, равен $\mu-\nu$, а поэтому $CLK=\pi-\mu+\alpha$, то из треугольника KCL получим пропорцию $\sin(\nu-\alpha):\sin(\pi-\mu+\alpha)=M:N$ или



Фиг. XCVI.

$$(\sin\nu\cos\alpha-\cos\nu\sin\alpha):(\sin\mu\cos\alpha-\cos\mu\sin\alpha)=$$
$$=(\sin\nu-\cos\nu\operatorname{tg}\alpha):(\sin\mu-\cos\mu\operatorname{tg}\alpha)=M:N,$$

откуда получается уравнение

$$N\sin\nu - N\cos\nu\,\mathrm{tg}\,\alpha = M\sin\mu - M\cos\mu\,\mathrm{tg}\,\alpha,$$

которое после приведения членов даст

$$\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{N\sin\nu - M\sin\mu}{N\cos\nu - M\cos\mu}.$$

Если теперь для краткости примем $N\sin\nu - M\sin\mu = P$ и $N\cos\nu - M\cos\mu = Q$, так что получится $\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{P}{Q}$, то окажется, что

$$\cos\alpha = \frac{Q}{\sqrt{P^2+Q^2}} \text{ и } \sin\alpha = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}}.$$

Но так как

$$\sin(\nu-\alpha):\sin(\mu-\nu) = KL:KC = M:A,$$

или

$$\sin\nu\cos\alpha - \cos\nu\sin\alpha:\sin(\mu-\nu) = M:A,$$

то, после подстановки ранее найденных значений для $\cos\alpha$ и $\sin\alpha$, получится

$$\frac{M\sin(\mu-\nu)}{\sqrt{P^2+Q^2}}:\sin(\mu-\nu) = M:A,$$

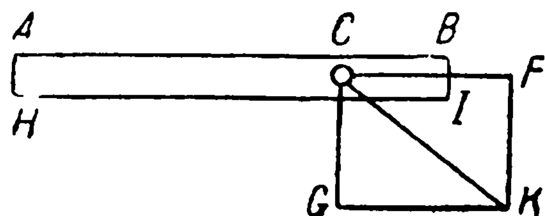
откуда получим $A = \sqrt{P^2+Q^2}$.

313. Итак, вместо двух действий, производимых двумя полюсами земного ядра на частицу C, мы можем подставить одно действие, величина и направление которого даны, а именно уравновешивающуюся их силу A, которая равна $\sqrt{P^2+Q^2}$ и которая образует с горизонтальной прямой GN такой угол α, что

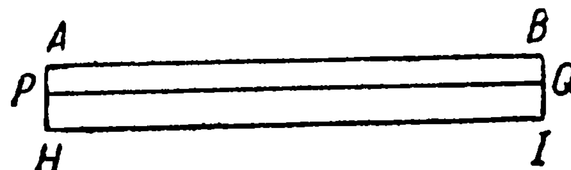
$$\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{N\sin\nu - M\sin\mu}{N\cos\nu - M\cos\mu}.$$

Только эту силу нам следует рассматривать, ибо она уравновешивает обе силы — и ту, которая исходит от положительного полюса ядра, и ту, которая исходит от отрицательного. Но прежде чем мы начнем выяснять, какое дей-

ствие она может произвести, нам кажется целесообразным предпослать здесь небольшое замечание. Пусть железный прут *AB* (фиг. XCVII), находящийся в каком угодно положении. подвергается действию земного ядра; допустим, что это действие происходит по прямой *CK* и состоит в том, что частица магнитной жидкости перегоняется из *C* в *K*. Ясно, что эта сила, действующая в направлении *CK*, может быть разложена на силу *CF*, параллельную длине прута, и на силу *CG*, перпендикулярную предыдущей. Итак, частицу магнитной жидкости *C*, заключенную в пруте, следует пред-



Фиг. XCVII.

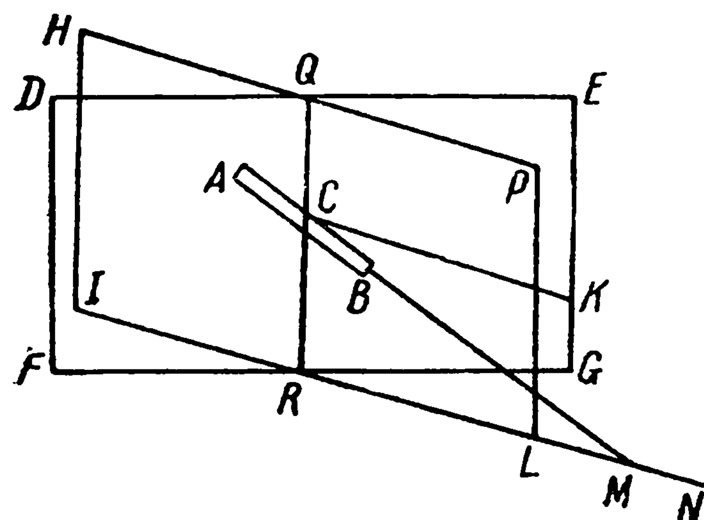


Фиг. XCVIII.

ставлять себе находящейся под воздействием двух сил, первая из которых толкает ее вдоль длины прута, а вторая перпендикулярна длине прута. Нет никакой нужды считаться с этой последней силой; ею можно без вреда для дела пренебречь. Действительно, представим себе, что действует только она; тогда мы увидим, что ее действие состоит в том, что она гонит магнитную жидкость от *AB* (фиг. XCVIII) к *HI* и сообщает пруту такое состояние, что часть его *ABPQ* оказывается опорожненной от жидкости, а часть *PQHI* наполненной ею. Но так как мы приняли, что толщина прута *AB* мала, то из изложенного в §§ 152, 160 и 162 совершенно ясно, что магнетизм, который появится в результате этого действия, будет едва-едва ощутимым или даже вовсе не ощутимым. Поэтому нет нужды с ним считаться и всем действием перпендикулярной силы *CG* в дальнейшем можно пренебречь без всякого вреда. Таким образом все наши усилия сведутся к исследованию силы *CF*, действующей вдоль длины прута, и можно спокойно предположить,

что количество силы, передаваемой магнитной полосе, всегда пропорционально этой последней силе.

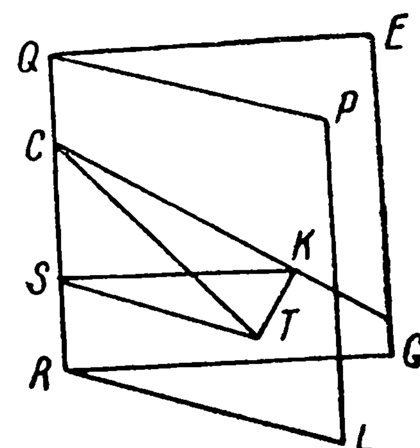
314. Если теперь поставить вопрос о величине силы, которую получает железный прут AB под действием земного ядра, то вполне ясно, что она зависит от положения прута; поэтому прежде всего мы должны позаботиться о том, чтобы определить ее в нашем случае. Это можно удобно сделать следующим способом. Через прямую CK (фиг. XCIX), которая выражает то направление, по которому земное ядро действует на частицы магнитной жидкости и которую я в дальнейшем буду называть *магнитным направлением*, проведем вертикальную плоскость $DEFG$ — это та плоскость, которую обычно называют *меридиональной магнитной плоскостью*; пусть она пересекает горизонт по прямой FG. Затем примем, что через прут AB, подвергающийся действию ядра, проходит другая плоскость $HPLI$, также вертикальная, пересекающая горизонт по прямой IL; предположим, что длина прута продолжена до пересечения в точке M с горизонтальной прямой ILN. Если теперь мы определим сперва угол наклона плоскости $HPLI$ по отношению к меридиональной плоскости $DEFG$, а именно угол GRL, который обозначим через γ, а затем также угол AMR, который образует длина прута с горизонтальной прямой IRN (этот угол мы обозначим через β), то ясно, что положение прута будет точно определено.



Фиг. XCIX.

315. Так как магнитное направление не совпадает с плоскостью $HPLI$, на которой находится прут AB, но образует угол с ней, то необходимо, раньше чем можно будет определить действие магнитного ядра на прут, разложив силу CK на составляющие, рассмотреть ее действие в плоскости

HPLI. Поэтому представим себе, что количество силы, исходящей от ядра, выражает прямая *CK* (фиг. С); затем, опустив на плоскость *QPRL* перпендикуляр *KT*, соединим сперва точки *C* и *T* прямой *CT*, а затем проведем из точек *K* и *T* горизонтальные прямые *KS* и *TS*; как известно из геометрии, эти прямые пройдут через одну и ту же точку *S* прямой *QR*. Ясно, что сила *CK* разлагается таким образом на две силы *CT* и *KT*, первая из которых лежит на плоскости *QPLR*, а вторая — перпендикулярна к ней. Этой последней силой, поскольку она перпендикулярна также к пруту *AB*, находящемуся в плоскости *QPRL* по указанным выше причинам, можно совершенно пренебречь; следовательно, можно считать, что дело обстоит так, как если бы на прут *AB* действовала только сила *CT*, лежащая в плоскости *QPRL*; поэтому нам надлежит исследовать и количество и направление этой силы. Итак, сохранив принятые выше обозначения и назвав угол *CTS* буквой δ, получим из треугольника *CKS*, что $CS = A\sin\alpha$, $KS = A\cos\alpha$, откуда найдем из треугольника *KST*, что $ST = A\cos\alpha\cos\gamma$. Отсюда, далее, можно получить, что



Фиг. С.

$$CT = A\sqrt{\sin\alpha^2 + \cos\alpha^2\cos\gamma^2} = A\cos\alpha\,\sqrt{\operatorname{tg}\alpha^2 + \cos\gamma^2}$$

и

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\cos\gamma},$$

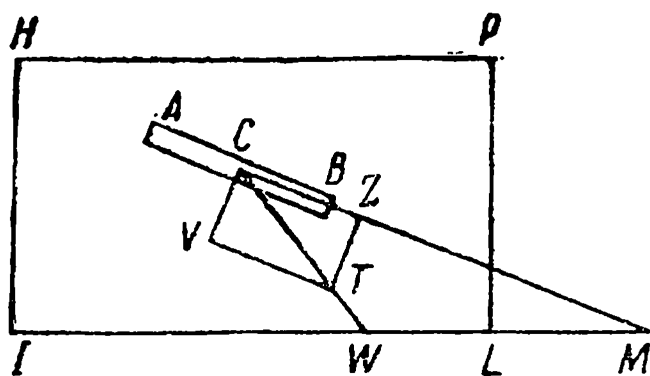
откуда

$$\sin\delta = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\sqrt{\operatorname{tg}\alpha^2 + \cos\gamma^2}}$$

и

$$\cos\delta = \frac{\cos\gamma}{\sqrt{\operatorname{tg}\alpha^2 + \cos\gamma^2}}.$$

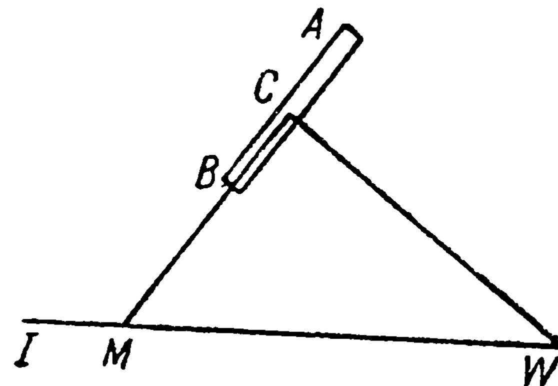
316. Если мы теперь хотим, наконец, довести до конца решение нашей задачи и определить количество магнитной силы, которую получает под действием земного ядра железный прут, пребывающий неподвижно в каком угодно положении, то нам необходимо снова разложить силу CT (фиг. CI) на две силы, из которых одна CZ действует вдоль длины прута AB на частицу C, а другая CV перпендикулярна первой; первой из них по причинам, изложенным выше, мы пренебрегаем. Ввиду того, что угол ZCT или $CTV = CWI - CMI = \delta - \beta$, мы найдем, что $CZ = CT \cos(\delta - \beta) = CT(\cos\delta \cos\beta + \sin\delta \sin\beta)$, а это выражение, после подстановки найденных выше значений для CT, $\sin\delta$ и $\cos\delta$, получит вид $A(\cos\alpha \cos\gamma \cos\beta + \sin\alpha \sin\beta)$. Это количество, поскольку оно выражает все действие, производимое земным ядром на жидкость, заключенную в пруте, в направлении длины прута, вместе с тем обозначает и величину магнитной силы, получаемой прутом, так как действие ядра пропорционально этой силе.



Фиг. CI.

317. Отсюда проистекают различные достойные внимания выводы, на которых мы вкратце остановимся. Прежде всего, во всякой плоскости существует определенное положение, находясь в котором, прут приобретает бо́льшую магнитную силу, чем если она будет занимать какое угодно другое положение. Чтобы определить это положение, соответствующее максимуму, надо только принять, что дифференциал силы CZ, т. е. $CT \sin(\delta - \beta)\, d\beta = 0$, откуда получим $\delta = \beta$. Итак, очевидно, что прут AB приобретает наибольшую силу, когда угол CMI равен углу CWI, или, что́ одно и то же, если прут AB занимает такое положение, что его длина лежит на линии CT, т. е. совпадает с направлением той из составляющих силы земного ядра, которая лежит

в вертикальной плоскости $HPLI$. Далее, существует и другое положение прута, находясь в котором он не приобретает никакой магнитной силы. Это положение можно получить, если положить $CT\cos(\delta-\beta)=0$ или $\cos(\delta-\beta)=0$, откуда получается, что $\delta-\beta=-\frac{\pi}{2}$ или $\beta=\frac{\pi}{2}+\delta$; следовательно, прут AB, если он находится в таком положении, что угол CMI (фиг. CII) равен прямому плюс CWI, т. е. в таком положении, что его длина перпендикулярна к прямой CT, не получает никакой магнитной силы от действия земного ядра.



Фиг. CII.

318. Хотя, как видно из только что изложенного, в любой вертикальной плоскости пруту может быть придано такое положение, находясь в котором он получит бо́льшую степень магнетизма, чем во всяком другом, однако легко понять, что в различных плоскостях эти максимальные силы будут неодинаковыми. В зависимости от того, в какой плоскости прут находится, они будут то бо́льшими, то меньшими, так что в этом случае существует некий maximum maximorum. Для его нахождения поступаем так. Ясно, что, поскольку $\beta=\delta$, наибольшая сила, которую получает прут, находящийся в данной плоскости, равна CT (фиг. C), равна $A\sqrt{\sin\alpha^2+\cos\alpha^2\cos\gamma^2}$, откуда, положив ее дифференциал $\frac{-A\cos\alpha^2\cos\gamma\sin\gamma d\gamma}{\sqrt{\sin\alpha^2+\cos\alpha^2\cos\gamma^2}}$ равным нулю, получим $\sin\gamma=0$, или $\cos\gamma=0$. В первом случае, относящемся к максимуму, $\gamma=0$. Так как угол GRL, равный γ, становится равным нулю, ясно, что прут получает абсолютно максимальную степень магнитной силы в том случае, когда он пребывает неподвижно на самой магнитной меридианной плоскости в таком положении, что его длина совпадает с магнитным направлением CK; в этом случае сила, которую она полу-

чает, равна A. Так как $\gamma = 0$, то $\cos\gamma = 1$; следовательно, сила, которую получает прут, равна $A\sqrt{\sin\alpha^2 + \cos\alpha^2} = A$. Второй же случай, когда $\cos\gamma = 0$, дает minimum maximorum. Так как в этом случае $\gamma = \frac{\pi}{2}$, то ясно, что прут, лежащий в плоскости, перпендикулярной к меридиональной магнитной плоскости, и расположенный так, что получает максимальную силу, какую он может получить в этой плоскости, получит меньшую силу, чем если бы он лежал в какой угодно другой плоскости; эта минимальная сила, вследствие того, что $\cos\gamma = 0$, равна $A\sin\alpha$, и ее получает прут, когда он расположен вертикально к горизонту.

Фиг. CIII.

319. Я оставляю эти исследования магнитной силы, которую получает в некоторой данной точке поверхности земли железный прут и которая изменяется с изменением положения прута. Я обращаю внимание на то, что в специальной диссертации,[71] посвященной магнитной стрелке, я прибавлю еще кое-что, заслуживающее внимания, и в частности покажу, что то положение, которое сама по себе занимает стрелка наклонения, если ее предоставить самой себе и если она свободно движется в любой вертикальной плоскости, совпадает с тем положением, которое нужно придать пруту, для того чтобы он приобрел максимальную степень магнитной силы. Остается еще разрешить другой вопрос: какую силу получит прут, если его переносить в различные места земли? Пусть $AHGF$[72] (фиг. CIII) — земной шар, а $BEDC$ — заключенное в нем ядро. Далее, пусть EC — плоскость, отделяющая часть EBC, наделенную положительным магнетизмом, от отрицательно-магнитной части EDC и пусть ось AG перпендикулярна к этой плоскости. Далее представим себе, что вся сила положительного полюса

сосредоточена в точке B, а отрицательного — в точке D. Проведем теперь расчет и исследования для какой-нибудь данной точки M на поверхности земли. Если провести из точки M прямые MB и MD, то ясно, что они будут выражать направления, по которым полюсы B и D земного ядра действуют на магнитную жидкость, заключенную в железном пруте, находящемся близ M. Представим себе, что через точку M проведена прямая NO, перпендикулярная к радиусу MK и касающаяся земного шара в точке M; она будет поэтому горизонтальной. Теперь проведем прямые MB, MK и MD по другую сторону от M до точек Q, P и R. Ясно, что угол QMN будет равен μ, а угол RMN равен ν (§ 310). Пусть расстояние точки M от точки A земного шара, находящейся вертикально над полюсом ядра, т. е. угол MKA, равно φ, пусть радиус земного шара KM равен r, радиус ядра равен a, и обозначим угол DMK буквой δ, а угол KMB буквой γ. Теперь ясно, что

$$MK : KD = \sin MDK : \sin KMD = \sin(\varphi - \delta) : \sin \delta,$$

откуда получим

$$r \sin \delta = a \sin \varphi \cos \delta - a \cos \varphi \sin \delta,$$

откуда

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\alpha \sin \varphi}{r + a \cos \varphi}.$$

Совершенно таким же путем найдем, что

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{a \sin \varphi}{r - a \cos \varphi},$$

откуда далее выводится, что

$$\cos \delta = \frac{r + a \cos \varphi}{\sqrt{r^2 + 2ar \cos \varphi + a^2}},$$

а

$$\cos \gamma = \frac{r - a \cos \varphi}{\sqrt{r^2 - 2ar \cos \varphi + a^2}}.$$

Но, так как $RMN = \nu = DMK +$ прямой угол $= \delta + \frac{\pi}{2}$, и $QMN = \mu =$ прямому углу $- BMK = \frac{\pi}{2} - \gamma$, то ясно, что получится

$$\cos\delta - \sin\nu = \frac{r + a\cos\varphi}{\sqrt{r^2 + 2ar\cos\varphi + a^2}}$$

и

$$\cos\gamma = \sin\mu = \frac{r - a\cos\varphi}{\sqrt{r^2 - 2ar\cos\varphi + a^2}}.$$

320. Наше дальнейшее исследование посвятим одному случаю, который заслуживает большего внимания, чем другие. Примем, что железный прут всегда находится в положении, перпендикулярном к горизонту. В этом случае сила, которую он получает, равна $A\sin\alpha$ (§ 316), равна $P = N\sin\nu - M\sin\mu$ (§ 310), причем необходимо отметить, что в этой формуле количества M и N переменные и изменяются вместе с изменением места точки M. Если теперь мы подставим только что найденные значения вместо $\sin\nu$ и $\sin\mu$, то для данной точки M земли, расстояние которой от земного магнитного центра измеряется дугой AM, магнитная сила, которую получает железный прут, поставленный вертикально, будет равна

$$\frac{N(r + a\cos\varphi)}{\sqrt{r^2 + 2ra\cos\varphi + a^2}} - \frac{M(r - a\cos\varphi)}{\sqrt{r^2 - 2ra\cos\varphi + a^2}}.$$

321. Если мы примем, что прут стоит вертикально к магнитному экватору в точке H, то φ будет равен прямому углу $\frac{\pi}{2}$, следовательно, в этом случае сила, переданная пруту, будет равна $\frac{r(N-M)}{\sqrt{r^2 + a^2}}$.

Если принять силу положительного магнитного полюса B точно такой, какова сила отрицательного полюса D, то в нашем случае N будет равно M, так как расстояния HB и HD равны между собой; поэтому только что найденное

выражение будет равно нулю, а следовательно, железный прут, поставленный вертикально над магнитным экватором, не может получить никакой магнитной силы. Если же φ равно или нулю, или π (а в этих случаях $\cos\varphi$ будет равен или $+1$ или -1), то магнитная сила прута будет равна $N-M$. В этом случае прут стоит вертикально над самыми магнитными полюсами B и D. Если мы сначала предположим, что она находится над полюсом D, то, вследствие того, что расстояние DG меньше, чем расстояние BG,[73] и N будет больше, чем M; если же перенести ее в точку A, то по такой же причине N будет меньше, чем M. Так как, далее, $DG=BA$ и $BG=DA$, то, очевидно, находясь в G или в A, прут в обоих случаях приобретет равную силу, но в точке A противоположную той, которую он получает в G.

322. Теперь вполне ясно видно, что должно произойти, если прут стоит вертикально или над экватором, или над полюсами. В первом случае он вообще не станет магнитным, во втором случае он станет магнитным, но при этом нижний конец его получит силу, противоположную той, которой обладает находящийся под ним полюс. Однако мы еще не уяснили, какие явления возникнут, если прут будет перенесен в места, лежащие между указанными. Установление этого зависит не только от знания закона, по которому происходят магнитные действия, но и от стольких других обстоятельств, что нет никакой надежды разрешить этот вопрос только с помощью теории. Это станет яснее, если хоть немного вникнуть в следующее рассуждение. Я показал выше, что сила, которую получает железный прут, стоящий вертикально, в общем виде равна $N\sin\nu-M\sin\mu$, а в том частном случае, когда он стоит над экватором, $\sin\nu=\sin\mu$ и $N=M$; поэтому и в таком случае эта сила становится равной нулю. Ясно, что при переходе от экватора к полюсу A

1) оба угла μ и ν возрастают, но не с равной скоростью, а с различной, так что

2) отношение $\sin\nu : \sin\mu$, все дальше отступая от отношения равенства, сначала начинает расти и достигает максимума, когда φ достигает такого значения, что

$$\cos\varphi = \frac{\sqrt{r^2 - a^2}}{\sqrt{3r^2 - a^2}},$$

а затем

3) снова начинает уменьшаться и опять все более и более приближается к отношению равенства, пока, наконец, после того как φ станет равным нулю, т. е. когда мы достигнем полюса, снова достигает отношения равенства.

Вычисления, доказывающего это, я не привожу, так как вопрос чрезвычайно прост и это вычисление скорее очень длинно, чем трудно. Что же касается изменений, которым подвергаются M и N, то ясно, что при переходе от экватора к полюсу A M будет непрерывно возрастать, а N убывать, ибо мы достоверно знаем, что, хотя функциональное выражение магнитных действий и неизвестно, но, во всяком случае, оно таково, что с увеличением расстояния сила все более уменьшается, откуда ясно, что по мере продвижения к полюсу A отношение M к N увеличивается и должно все более и более отступать от отношения равенства.

323. В зависимости от различий в законе этого возрастания и результат должен быть различным. Прежде всего вообразим себе, что отношение $\sin\nu : \sin\mu$ возрастает при переходе от экватора к точке M, и в то же время примем, что отношение $M : N$ также одновременно возрастает, однако в меньшей степени, чем отношение $\sin\nu : \sin\mu$; тогда мы будем иметь для точки M неравенство $M : N < \sin\nu : \sin\mu$. Итак, будет $M \sin\mu < N \sin\nu$, а следовательно $N \sin\nu - M \sin\mu$ равно какой-то положительной величине. Но так как отношение $M : N$ продолжает постоянно возрастать, а отношение $\sin\nu : \sin\mu$ после перехода через точку максимума опять уменьшается и снова переходит в отношение равенства, то ясно, что в дальнейшем продвижении к положительному

полюсу мы раньше или позже дойдем до точки, в которой $M:N > \sin\nu:\sin\mu$, а сила $N\sin\nu - M\sin\mu$ отрицательная. Ясно, что совершенно то же самое будет иметь место при переходе от экватора к отрицательному полюсу G. Итак, при том предположении, которое мы приняли в начале этого параграфа, при переходе от экватора к полюсам должны возникнуть следующие явления:

1) на самом экваторе прут не получает никакой силы;

2) при переходе к положительному полюсу вначале нижний конец прута становится положительно-магнитным, а верхний отрицательно-магнитным, и, наконец,

3) мы доходим до места, находящегося где-то между экватором и полюсом, где снова сила вертикально стоящего прута становится равной нулю, а затем при дальнейшем продвижении к полюсу

4) прут снова становится магнитным, но теперь, наоборот, нижний его конец приобретает отрицательный, а верхний — положительный магнетизм.

Точно так же, если переносить прут от экватора к отрицательному полюсу, то

1) вначале он становится отрицательно-магнитным на нижнем конце и положительно-магнитным на верхнем конце. Затем раньше или позже

2) мы доходим до места, где сила его равна нулю, а оттуда

3) вплоть до полюса прут становится магнитным, причем все это время действует правило, что нижний конец наделяется положительным, а верхний — отрицательным магнетизмом.

324. Если же при переходе от экватора к полюсу при возрастании отношения $\sin\nu:\sin\mu$ отношение $M:N$ будет возрастать с большей скоростью, чем первое отношение, то будет постоянно от экватора до полюса $M:N > \sin\nu:\sin\mu$, откуда $M\sin\mu > N\sin\nu$, а сила $N\sin\nu - M\sin\mu$ будет отрицательной. Ясно, что в этом случае нижний

конец прута, при переходе к положительному полюсу A, будет постоянно отрицательно-магнитным, а верхний — положительно-магнитным. Точно так же при переходе к отрицательному полюсу G нижний конец окажется положительно-магнитным, а верхний отрицательно-магнитным. Это все, чего можно достигнуть только при помощи теории, не подкрепленной опытами, для определения того, какой из этих случаев будет иметь место.

325. Кто захотел бы сравнить данные выше положения с общеизвестными опытами, обнаружил бы замечательное совпадение во всех частностях. Прекрасно известно следующее: если прут, пребывающий неподвижно в горизонтальном положении — так, что его длина перпендикулярна к прямой, по которой сама по себе располагается магнитная стрелка склонения, будет поднесен к магнитной стрелке, свободно движущейся взад и вперед на своем стержне, то этот прут не обнаружит никакой силы, которая притягивала или отталкивала бы конец стрелки; как можно заключить из приведенных рассуждений, основанных на нашей теории, так и должно происходить. Если же прут будет находиться в положении, так или иначе наклонном к горизонту, а затем его поднесут к магнитной стрелке, то известно, что нижний его конец будет отталкивать конец стрелки, обращенный на север, а верхний — притягивать. Но все это прекрасно известно. Что же касается до магнитной силы прута, пребывающего неподвижно в вертикальном положении и переносимого в различные места земного шара, то опыт показал, что этот случай, который я разобрал в § 322, действительно имеет место в природе; это можно видеть у знаменитейшего Мушенбрёка в его диссертации о магните (стр. 262), где собраны относящиеся сюда опыты из английских Philosophical Transactions, № 177.[74]

326. Те явления, которые мы рассмотрели выше, дают новый замечательный довод в пользу правильности предложенного выше взгляда, что внутри земного шара заключено

некое магнитное ядро. Ведь не только земной шар, как мы показали выше, действует точно таким же образом, подобно магниту, на магнитную стрелку или на другой, свободно подвешенный магнит, но, теперь становится ясным, он и в том отношении ведет себя, как магнит, что делает железо, находящееся поблизости от него, если ему придано должное положение, магнитным. Однако, сколь бы убедительными ни казались эти доводы, некоторое сомнение, весьма подрывающее нашу теорию, невольно зарождается при ознакомлении еще с одним явлением; это явление вначале приводило в недоумение и меня самого, но когда я обдумал его более тщательно, мне удалось не только преодолеть это сомнение, а наоборот, это явление оказалось новым доказательством правильности моего взгляда.

327. То сомнение, о котором я говорю, имело источником следующее соображение. Если земное ядро обладает всеми свойствами настоящего магнита, то оно должно не только действовать на магнитную стрелку и делать магнитным железо, находящееся с ним по соседству, но следует еще ожидать, что оно ничем не отличается от магнита и в следующем: оно должно притягивать не только мягкое, не магнитное железо, но и должно притягивать или отталкивать другой магнит, в зависимости от того, обращены ли друг к другу разноименные или одноименные полюсы. Обстоит ли дело так, можно легко проверить на опыте; я вкратце укажу, как можно поставить такие опыты.

328. Найдем при помощи самых чувствительных весов вес сильно закаленного, но не магнитного стального прута. Затем наделим этот прут магнитной силой, и затем снова найдем его вес, причем при взвешивании будем в первый раз держать обращенным вниз северный полюс, а во второй — южный. Если земной шар — магнит, то он должен в первом случае притягивать полосу, а во втором — отталкивать, откуда, как кажется, следует, что в первом случае вес прута должен увеличиться и иметь излишек сверх того

веса, который он имел, прежде чем был наделен магнитной силой, а во втором — уменьшиться и стать ниже первоначального. Мы с тем бо́льшим правом можем ожидать такого результата опыта, что в тех случаях, когда взвешивание производится поблизости к такого рода неподвижному магниту, никогда не бывает, чтобы не наблюдалось указанных явлений.

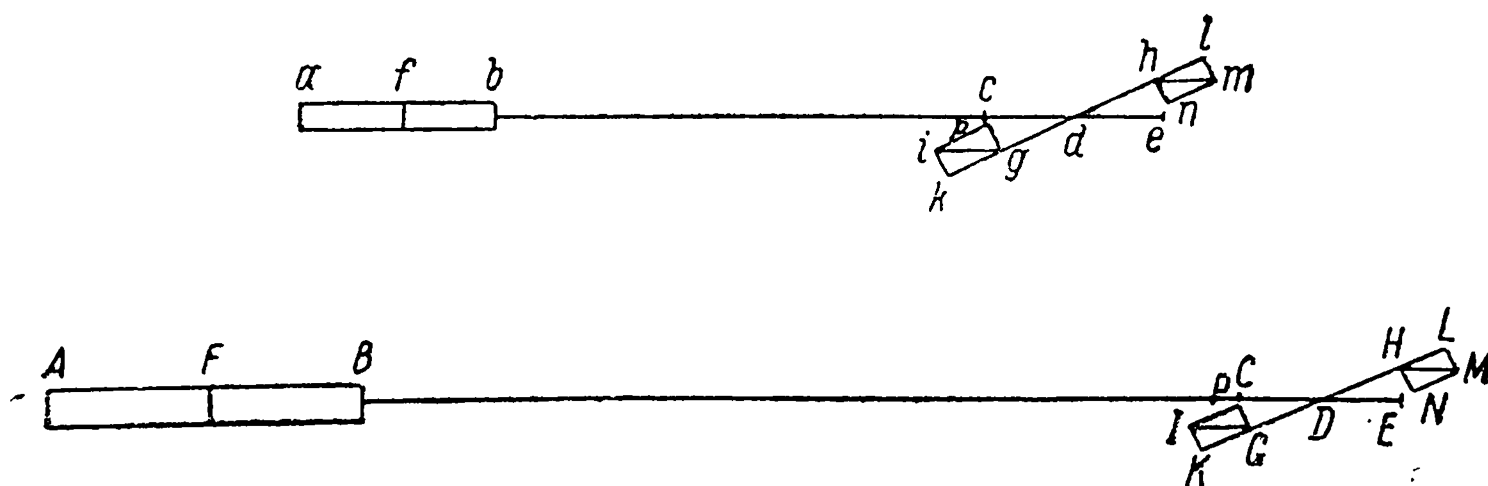
329. Далее, положим на деревянную лодочку сильно магнитный стальной прут (или проткнем имеющий надлежащую величину пробковый шарик намагниченной железной проволокой), и пусть он затем свободно плавает на поверхности воды, налитой в сосуд. Ясно, что прут должен так повернуться, чтобы совпасть с магнитным меридианом, причем один из его концов должен быть обращен к северу, а другой к югу; более того, если верно то, что мы утверждали о магнитной силе земного шара, то, повидимому (если прут находится в северном полушарии), он должен подплыть близко к северному краю сосуда; он никогда не должен оставаться в покое, если его поместить посередине сосуда, но всегда сам по себе переходит к его северному краю. Каждый легко может убедиться, что именно так произойдет в действительности, если держать около сосуда надлежащим образом магнит.

330. Далее, на тонкой нити подвесим свинцовый шарик и со всей возможной тщательностью определим вертикальное положение проволоки. Затем, сняв свинцовый груз, подвесим вместо него на нить магнитный стальной прут, предоставленный самому себе и имеющий возможность свободно двигаться; он повернется так, что один из его полюсов будет обращен к северу, а другой — к югу. Если верно то, о чем мы говорили выше, то, повидимому, прут, притягиваемый более близким к нему (если опыт производится в наших местах) северным полюсом, не сможет противостоять этой силе, и поэтому подвес должен несколько отклониться от вертикали, как это можно наблюдать, когда к подвесу приближают магнит.

331. К одной из чашек очень чувствительных весов подвешивается прут из мягкого железа в положении, находясь в котором он не приобретает никакой магнитной силы (§ 315); записав его вес, его затем подвешивают (если опыт производится в местностях, значительно отстоящих от экватора), так, что один из его концов обращен прямо вниз или, что еще лучше, в таком положении, находясь в котором, он приобретает максимум магнитной силы (§ 316), и затем он взвешивается. Если земной шар, как следует ожидать, будет притягивать прут в этом последнем положении, то мы должны обнаружить увеличение веса прута.

332. Какой бы из указанных здесь опытов мы ни поставили, мы каждый раз будем убеждаться, что никакого сколько-нибудь ясного признака притягивания или отталкивания, исходящего от земного шара, не обнаружится. Поэтому можно сомневаться, правильно ли мы утверждали, будто земной шар обладает магнитной силой: ведь уже с первого взгляда кажется ясным, что эти явления оканчиваются иначе, чем следовало бы ожидать согласно нашему предположению. Может притти на ум, что для того, чтобы рассеять это серьезное сомнение, необходимо предположить следующее: хотя земной шар и представляет собой огромный магнит, но это магнит очень слабый, обладающий столь малыми силами, что притяжение и отталкивание, которое он производит, совершенно не может ощущаться. Однако, если надлежащим образом взвесить эти факты, то легко понять, что такого рода ответ никого не может убедить и что противник может с полным правом пренебречь им. Действительно, опыты показывают, что если считать земной шар магнитом, то во всяком случае очень сильным, а никак не чрезвычайно слабым, сила которого почти не ощутима. С утверждением, будто магнит, заключенный в нутре земли, чрезвычайно слаб, никак не согласуется ни весьма заметная управляющая сила, которую он передает магнитным стрелкам, ни достаточно ощутимая сила, которую он сообщает немагнитному железу.

333. Итак, хотя это сомнение имеет весьма серьезные основания, я после тщательного рассмотрения обнаружил, что мне нечего бояться этих возражений, но, наоборот, эти явления в высшей степени способствуют очевидному доказательству существования магнитного ядра земли, ибо, как я могу доказать, все это происходит как раз так, как и должно происходить, если принять предположение о существовании магнитного ядра. Чтобы это стало ясным, допустим, что AB и ab (фиг. CIV) — два магнита, из которых один AB значительно больше другого ab. Представим себе, что под дей-



Фиг. CIV.

ствием каждого из них, на расстоянии BC от первого и на расстоянии bc от второго, находятся магнитные стрелки CE и ce, совершенно подобные и равные. Я утверждаю, что в том случае, когда стрелки CE и ce находятся на таком расстоянии от обоих магнитов AB и ab, что направляющие силы, которые эти стрелки получают под действием магнитов, равны между собой, сила, с которой больший магнит AB притягивает всю стрелку CE, будет значительно меньше, чем сила, с которой меньший магнит ab притягивает всю стрелку ce.[75]

334. Для того чтобы на одном частном примере более ясно бросилась в глаза правильность этого утверждения, вообразим себе на некоторое время магнитные действия происходящими по такому закону, что они обратно пропорциональны квадратам расстояний. Далее, чтобы сделать наше исследо-

вание более легким, представим себе, что вся сила полюсов FB и fb сосредоточена в точках B и b; точно так же вообразим себе, что в стрелках CE и ce вся сила полюсов CD и cd сосредоточена в точках C и c, а вся сила полюсов DE и de — в точках E и e, для того чтобы можно было считать, что силы, исходящие от магнитов B и b, приложены к точкам C и c, E и e. Сделав такие предположения, обозначим расстояние BC буквой A, bc буквой a, а длину стрелок CE и ce назовем b.

Далее, избыток или недостаток количества магнитной жидкости в части FB по сравнению с естественным количеством (будет ли это избытком или недостатком зависит от того, будет ли FB положительным или отрицательным полюсом магнита AB) обозначим через M; точно так же избыток или недостаток количества жидкости в части fb назовем m.

335. Прежде всего ясно как из нашего предположения, так и из изложенного выше в главе I, что сила, с которой точка B притягивает точку C стрелки, так относится к силе, с которой точка b второго магнита притягивает точку c стрелки, находящейся близ этого магнита, как $\frac{M}{A^2}$ к $\frac{m}{a^2}$. Далее, в магнитной стрелке CE или ce магнитная материя, выгнанная из отрицательно-магнитной части, вся перегнана в положительно-магнитную часть, так что в одной части как раз такой же избыток магнитной жидкости,[66] каков в другой — недостаток; поэтому ясно, что сила, с которой точка E притягивается полюсом B, так относится к силе, с которой точка E отталкивается тем же полюсом, как $\frac{1}{A^2}$ к $\frac{1}{(A+b)^2}$; поэтому, если мы примем, что первая сила выражается через $\frac{M}{A^2}$, то вторую придется выразить через $\frac{M}{(A+b)^2}$. Точно так же сила, с которой точка b отталкивает точку e, окажется равной $\frac{m}{(a+b)^2}$. Если мы желаем теперь найти всю силу, с которой стрелка CE притягивается полюсом B, то, так как

точка C притягивается им с силой, равной $\frac{M}{A^2}$, а точка E отталкивается с силой, равной $\frac{M}{(A+b)^2}$, очевидно, вся сила, побуждающая стрелку двигаться к B, равна $\frac{M}{A^2}-\frac{M}{(A+b)^2}$, а сила, с которой полюс b притягивает стрелку ce, окажется, если рассуждать таким же образом, равной $\frac{m}{a^2}-\frac{m}{(a+b)^2}$.

336. После того как выведены формулы, выражающие силу притяжения полюсов B и b, исследуем также величину направляющей силы, которую получит стрелка CE или ce под действием этих полюсов. Примем, что вследствие этого стрелки CE и ce немного сдвинутся со своего прежнего положения, причем образуют с прямыми DB и db углы CDG и cdg; предположим, что эти углы равны друг другу и обозначим их через φ. Теперь, чтобы вывести, какое отношение друг к другу сохраняют силы, стремящиеся обратно повернуть стрелки в положение DB и db, будем поступать следующим образом. Из сказанного выше ясно, что точка G притягивается полюсом B в направлении GI. Но так как угол CDG чрезвычайно мал, то мы можем считать направление силы GI параллельным прямой DB, а силу, с которой притягивается точка G, равной силе, с которой притягивается точка C. Точно так же точка H отталкивается полюсом B с такой же силой, с какой точка E, в направлении HM, параллельном прямой DB. Теперь разложим эти силы GI и HM каждую на две силы — одну, параллельную стрелке, другую — перпендикулярную ей; первую разложим на силы KG и PG, а вторую — на силы HL и HN; в этом случае ясно, что параллельные силы GK и HL взаимно уничтожаются ввиду неподвижности точки D, а силы GP и HN, содействуя друг другу, стремятся повернуть стрелку в направлении прямой DB; поэтому они, взятые вместе, и составляют всю направляющую силу стрелки. Ввиду того, что $GI:GP=1:\sin\varphi$, сила влекущая в направлении GP, равна $\frac{M\sin\varphi}{A^2}$.

По такой же причине и сила, толкающая в направлении HN, равна $\frac{M \sin \varphi}{(A+b)^2}$, откуда следует, наконец, что вся направляющая сила стрелки равна $\left(\frac{M}{A^2}+\frac{M}{(A+b)^2}\right) \sin \varphi$. При помощи таких же рассуждений можно найти и направляющую силу стрелки ce, подвергающейся действию меньшего магнита ab, она равна $\left(\frac{m}{a^2}+\frac{m}{(a+b)^2}\right) \sin \varphi$.

337. Итак, ясно, что направляющие силы, возникающие в стрелках CE и ce под действием полюсов B и b, равны между собой в том случае, когда

$$M\left[\frac{1}{A^2}+\frac{1}{(A+b)^2}\right]=m\left[\frac{1}{a^2}+\frac{1}{(a+b)^2}\right],$$

или когда

$$M : m=\left[\frac{1}{a^2}+\frac{1}{(a+b)^2}\right] : \left[\frac{1}{A^2}+\frac{1}{(A+b)^2}\right].$$

Если же мы предположим, что такое отношение между M и m действительно существует, то направляющие силы стрелок будут равны между собой, но, тем не менее, та сила, с которой полюс B большего магнита притягивает всю стрелку CE, будет значительно меньше той силы, с которой полюс b меньшего магнита притягивает стрелку ce.

338. Для более ясного понимания этого, обратимся к числовому примеру. Для этой цели пусть $bc=a=1$, $CE=ce=b=0.1$, что же касается $BC=A$, то пусть оно принимает последовательно значения 10, 100, 1000 и т. д., и предположим, что отношение между количеством m, которое мы также принимаем за единицу, и количеством M таково, что направляющие силы, которые стрелки CE и ce получают под действием полюсов B и b, равны между собою. Тогда получаем те значения для сил притяжения, которые даны в следующей таблице:

A	1	10	100	1000
M	1	92	9141	913314
Направляющая сила .	1.8264462 · sinφ	1.8264462 · sinφ	1.8264462 · sinφ	1.8264462 · sinφ
Сила притяжения . .	0.1735537191	0.0181276432	0.0018263718	0.0001826628

Итак, если даны четыре магнита, абсолютные силы которых относятся друг к другу, как 1 : 92 : 9141 : 913314, и сходные между собой магнитные стрелки отстоят от этих четырех магнитов на расстояния, относящиеся друг к другу, как 1 : 10 : 100 : 1000, то хотя направляющая сила всех этих стрелок будет одинаковой, однако же та сила, с которой каждый больший магнит притягивает всю стрелку, находящуюся под его действием, будет значительно меньше, чем сила, с которой меньший магнит притягивает стрелку. Действительно, если пренебречь шестью последними десятичными знаками, то эти силы относятся друг к другу, как 1736 : 181 : 18 : 2.[77]

339. Отсюда достаточно ясно, насколько правильна теория, предложенная в § 331, а вместе с тем без труда можно понять, что в том случае, когда магнит *AB* обладает как бы в бесконечное число раз бóльшими силами, чем другой магнит *ab*, и если стрелка *BE* удалена от первого магнита на неизмеримое или, во всяком случае, на весьма большое расстояние, то хотя она обнаружит такую же направляющую силу, как та, которой обладает стрелка *ce*, находящаяся поблизости от меньшего магнита *ab*, но та сила, с которой больший магнит *AB* притягивает стрелку *CE*, будет в этом случае как бы в бесконечное число раз меньше, чем та сила,

с которой стрелка притягивается магнитом ab, и поэтому окажется совершенно неощутимой.

340. Я показал уже подробно, что нельзя в зависимости от величины направляющей силы заключать о величине силы притяжения, исходящей от магнита, но, наоборот, магниты с большей массой и с более благородными силами могут наделять стрелки, очень отдаленные от них, весьма ощутимой направляющей силой, хотя их сила притяжения с точки зрения ощущения совершенно равна нулю. То же верно и в отношении той магнитной силы, которую обычно магниты передают прутьям, состоящим из немагнитного железа.[78] А именно, если к меньшему магниту ab будет поднесен такой прут ce на расстояние bc, и другой подобный и равный прут CE будет подвержен действию большего магнита AB на расстоянии BC, то я утверждаю следующее: хотя расстояния bc и BC выбраны так, что каждый из магнитов передает каждому пруту одну и ту же степень магнетизма, тем не менее, бо́льший магнит будет притягивать прут CE с много большей силой, чем та, с которой прут ce притягивает меньший магнит. Действительно, величина магнитной силы, переданной пруту, зависит от силы, с которой магнит действует на содержащиеся в пруте частицы магнитной жидкости. Итак, если мы сохраним здесь предположения и обозначения, принятые нами выше, то сила, с которой действует меньший магнит ab для того, чтобы намагнитить прут ce, так относится к силе, с которой действует больший магнит AB, как $\frac{m}{a^2}$ к $\frac{M}{A^2}$; как эти силы, так и степени магнетизма, полученные в результате их действия, будут равны между собой, если $M:m=A^2:a^2$. Но так как в этом случае прутья CE и ce получают одну и ту же степень магнетизма, то силы, с которыми они притягиваются полюсами B и b относятся друг к другу, как $M\left(\frac{1}{A^2}+\frac{1}{(A+b)^2}\right)$ к $m\left(\frac{1}{a^2}+\frac{1}{(a+b)^2}\right)$. Итак, если мы снова примем $m=1$, $a=1$ и допустим, что A становится последовательно 10, 100, 1000 и т. д. и что M всегда

придается такая величина, при которой силы, стремящиеся сделать прутья *CE* и *ce* магнитными, становятся равными между собой, то мы найдем силы притяжения, данные в следующей таблице:

A	1	10	100	1000
M	1	100	10000	100000
Магнитная сила прута	1	1	1	1
Сила притяжения . .	0.1735537191	0.0197039600	0.0019980000	0.0002000000

Эти силы притяжения, если пренебречь шестью последними знаками, относятся друг к другу приблизительно как 1736 : 197 : 20 : 2. Итак, совершенно так же, как в предыдущем случае, и теперь ясно, что хотя бóльший магнит может наделить железо, весьма далеко от него отстоящее, той же степенью магнитной силы, какою меньший магнит наделяет на меньшем расстоянии, но сила притяжения, которая в этом случае исходит от большего магнита, значительно меньше силы притяжения меньшего магнита; более того, может случиться, что самый сильный магнит наделяет прут, находящийся на очень большом расстоянии от него, вполне ощутимой степенью магнетизма и, тем не менее, не притягивает ее в такой степени, чтобы это можно было установить при помощи чувств.

341. Мне нечего опасаться, что у читателей вызовет недоверие принятие мною произвольной гипотезы, будто магнитные действия обратно пропорциональны квадратам расстояний и будто таков закон этих действий. Ведь всякий легко заметит, что результаты получатся совершенно сходные, каков бы ни был истинный закон магнитных действий, лишь бы только мы приняли, что с увеличением расстояния величина действия уменьшается. Я не потому предположил здесь

существование этого закона, что я считаю его истинным законом природы, но для того, чтобы на каком-либо определенном примере с помощью определенных чисел все мои рассуждения стали более отчетливыми и очевидными. Впрочем, теперь уже ясно видно, как надо объяснять то парадоксальное явление, которое казалось совершенно противоречащим нашей теории о магнитном ядре, заключенном в земном шаре; парадоксальность этого явления заключалась в том, что это ядро обнаруживает значительную направляющую силу и ясно ощутимую способность делать магнитными предметы из мягкого железа, но, в то же время, не обнаруживает никаких признаков силы притяжения железа. Теперь нам стало уже вполне ясным, что если принять земное ядро за огромный магнит, обладающий большой силой, то окажется возможным следующее: этот магнит простирает действие своей силы на то огромное расстояние, на которое мы, жители земной поверхности, от него удалены, и это действие вполне ощутимо; он наделяет также направляющей силой магнитные стрелки и сообщает магнитную силу железным прутьям, находящимся в надлежащем положении. Однако этому не противоречит то, что он притягивает или отталкивает другие магниты или немагнитные железные предметы так слабо, что это действие совершенно недоступно для наших чувств.[79]

342. В силу тех же основных положений становится совершенно ясной и причина некоторого другого явления, которое, как мне помнится, было уже отмечено некоторыми авторами, подвергшими магнит весьма тщательному исследованию. Некоторые из естествоиспытателей отличают *сферу действия* магнитов от *сферы притяжения*. За радиус сферы действия они принимают расстояние, на котором магнит оказывает ощутимое воздействие на компас, а протяжение сферы притяжения они определяют расстоянием, на котором магнит ощутимым образом притягивает железо, подвешенное к чувствительнейшим весам; при этом они заявляют еще,

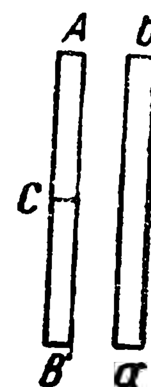
что, как показывает опыт, сфера действия магнитов, как правило, простирается на большее расстояние, чем сфера притяжения, и что разница между расстояниями, на которые распространяются та и другая сферы, оказывается тем большей, чем бо́льший и более сильный магнит берется для опыта. Я уверен, что вряд ли у кого-либо вызовет сомнение полное согласие этих положений с изложенной выше моей теорией — теперь вполне ясно, что и без дальнейшего исследования этого вопроса мною найдена истинная причина этого явления.

343. Теперь мы можем вернуться на ту дорогу, с которой нам пришлось сойти, для того чтобы рассеять указанное выше сомнение. Есть много явлений, причина которых в том, что земной шар обладает способностью передавать магнетизм железным предметам и сходным с железом телам, находящимся близ земной поверхности; эти явления даже опытным естествоиспытателям кажутся чудесными и трудными для объяснения, но они вытекают из нашей теории, будучи с ней в такой очевидной связи, что вполне заслуживают более тщательного исследования.

Прежде всего наблюдается некоторая разница в самопроизвольно возникающем магнетизме, который получают под действием земного ядра железные прутья, в зависимости от того, применяются ли для опыта прутья из мягкого железа или из твердого. Действительно, прутья, состоящие из мягкого железа, находящиеся в надлежащем положении, получают гораздо более активный магнетизм, чем состоящие из твердого железа, так что, как видно из опыта, степень магнетизма как бы обратно пропорциональна твердости железа, и магнетизм, как правило, тем слабее, чем тверже прут; неощутим или едва ощутим магнетизм прутьев, обладающих наивысшей степенью твердости, какую только можно получить, а именно твердость которых не уступает твердости и хрупкости стекла.[80] Не приходится далеко ходить за объяснением этих явлений. В самом деле, поскольку в мягком железе магнитная жидкость движется легко, а в более твер-

дом — с трудом и поскольку передача магнетизма состоит в перегонке магнитной жидкости из одного конца прута в другой, ясно, что частицы магнитной жидкости, заключенные в более мягком железе, всегда легче последуют импульсу, исходящему от земного шара, чем частицы, заключенные в более твердой стали. По этой же причине, как мы уже выше отметили, мягкие железные тела получат, находясь поблизости от какого бы то ни было магнита, больше магнетизма, чем твердые.

344. Железный прут *AB* (фиг. CV), который до этого времени не был вовсе наделен магнетизмом, поместим неподвижно в вертикальном или другом соответствующем положении. Если затем к его нижнему концу *B* приблизим магнитную стрелку и если опыт будет производиться в северной части земли, то, как это ясно уже из сказанного выше, этот конец будет отталкивать северный конец стрелки и притягивать южный. Если же приблизить стрелку к верхнему концу *A*, то получится как раз противоположное: этот конец будет притягивать северный полюс стрелки и отталкивать южный. Теперь перевернем прут, так чтобы он получил положение *ba* и чтобы конец *A*, который прежде был верхним, стал теперь нижним. Мы заметим, что каждый из концов сразу же приобретет силы, противоположные тем, которые он раньше имел: теперь уже конец *a* притягивает северный конец и отталкивает южный, а второй конец *b* отталкивает северный и притягивает южный. В этом опыте естествоиспытателям казалось удивительным то внезапное изменение, которое происходит с прутом: конец *B*, который прежде был северным полюсом прута, при повороте прута, мгновенно превращается в южный, а конец *A*, бывший прежде южным полюсом, превращается в северный. Причина этого чрезвычайно легко выводится из нашей теории. Само собой ясно, что при повороте прута земной полюс, к которому она



Фиг. CV.

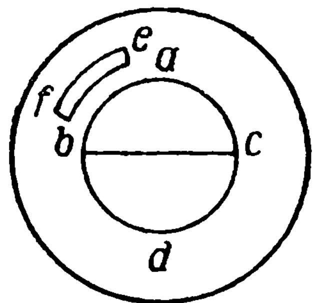
поворачивается, стремится передать пруту состояние, противоположное тому, которое он прежде имел; поэтому неудивительно, что магнетизм, который был мгновенно возбужден, столь же мгновенно и уничтожается, и пруту передается противоположное состояние.

345. Выше я отметил, что прутья, состоящие из весьма твердой стали, даже если их поместить в надлежащем положении, приобретут, тем не менее, под действием земного ядра, только слабый магнетизм; причину этого я показал уже выше. Но опыт обнаружил другие способы, благодаря которым даже и очень твердые прутья приобретают бóльшую, и даже очень значительную степень магнетизма. К этому результату, прежде всего, может привести длительность пребывания в надлежащем положении. Действительно, если в должное положение будут приведены весьма твердые железные прутья или другие тела, пригодные для восприятия и сохранения магнетизма, и если они останутся в таком положении очень долго, скажем в течение целых лет или даже столетий, то обнаружится, что они приобрели значительную степень магнетизма; более того, как указано в литературе, нередко наблюдали, что тела такого рода, если они оставались в течение ряда веков неподвижными в должном положении, приобретали такую силу, что совершенно не уступали самым благородным естественным магнитам, добытым из рудников. Вполне ясно, что явление это не представляет никаких трудностей для объяснения: действительно, нельзя очень удивляться тому, что в том случае, когда земной шар непрерывно стремиться сделать прут магнитным в течение всего того времени, когда он остается в должном положении, эта сила достигает большего результата, непрерывно действуя в течение многих лет и даже столетий, чем она в состоянии достигнуть в короткие мгновения.[81]

346. Нельзя совсем умолчать и о следующем явлении, хотя причина его чрезвычайно ясна. После того как железный прут или какое-нибудь другое тело, сходное с железом,

в течение суток находившееся уже в должном положении, приобретает значительную степень магнетизма, повернем его так, чтобы он занял положение, прямо противоположное первому; тогда результат будет иным, чем в опыте, описанном нами в § 344. Действительно, магнетизм прута в этом случае не станет, как в указанном, сразу же обратным, но наоборот, если до поворота конец *A* получил южный, а конец *B* северный магнетизм, то даже если прут будет повернут, каждый конец его, тем не менее, сохранит тот магнетизм, которым он обладает. Причину этого явления легко обнаружить: само по себе ясно, что тот результат, который произвело непрерывное действие какой-либо силы, продолжающееся значительное время, не может быть уничтожен в одно мгновение равной силой, стремящейся к противоположному результату. Однако же без труда можно понять также, что в том случае, если прут будет оставаться очень долго в обратном положении, то не только значительно уменьшится и в конце концов совершенно уничтожится та сила, которую он приобрел после долговременного истечения магнитной жидкости, но, более того, может случиться, что после того как будет уничтожен весь тот магнетизм, который прут прежде приобрел, он вслед за тем будет приведен в противоположное состояние. Но это может произойти только в том случае, если прут будет дольше удерживаться в перевернутом положении, чем он оставался в первоначальном. В силу тех же основных начал без труда можно понять, почему магнит, находясь в таком положении, что южный его полюс обращен к северному полюсу земли, а северный полюс — к южному полюсу земли, оставленный надолго в таком положении, в значительной степени утрачивает свои силы; наоборот, его действенность несколько усиливается, если его северный полюс обращен к северу, а южный — к югу и если магнит будет долго оставаться в таком положении. Но это вполне ясно само по себе; поэтому мы перейдем к разбору более важных явлений.

347. Представим себе, что в недрах земли, неглубоко под ее поверхностью, находится слой *ef* (фиг. CVI), содержащий в большом количестве руду с довольно чистым железом; если *abcd* — магнитное ядро земли, то из сказанного выше ясно, что его действие стремится к тому, чтобы сделать эту руду магнитной. Если это действие продолжается в течение огромного времени, в течение многих столетий, то этот слой может стать в такой степени магнитным, что части его, добытые из рудника, обнаруживают выдающуюся магнитную силу при условии, что руда, из которой состоит этот слой, может в достаточной мере приобретать и сохранять сильный магнетизм. Таким образом, как я полагаю, и появились естественные магниты, которые извлекаются ежедневно на поверхность из железных рудников. Действительно, наши рудники находятся лишь немного ниже поверхности земли, и поэтому, повидимому, лишено какого бы то ни было правдоподобия, чтобы они были частью того самого ядра, о котором мы столь часто говорили выше. Ведь очевидно не только то, что описанным образом могут возникать магнитные руды, но также (если, как полагает большинство физиков, еще и ныне возникают металлы) не может быть сомнения в том, что указанным способом ежедневно все еще возникают и получаются в недрах земли новые магниты. Итак, как мне кажется, не должен вызывать сомнений мой взгляд, согласно которому все магниты, которые когда-либо вывел на свет из глубин земли упорный человеческий труд, созданы природой описанным образом.[82]



Фиг. CVI.

348. Этот мой взгляд может вызвать сомнение у читателей; и у меня самого явилось такое сомнение, но когда я старался рассеять его, мне не только удалось притти к окончательному его разрешению, но и к одному весьма изящному открытию, при помощи которого можно увеличивать силы магнитов выше той степени, которая достигается

обычно. Если считать правильным то, что я утверждал о возникновении естественных магнитов, то можно поставить вопрос, почему не все железные руды, вырываемые из недр земли, оказываются обладающими магнитной силой. Получается такое впечатление, будто мое объяснение возникновения естественных магнитов не убедительно и, что из него следует, будто ни одно тело, родственное железу, не может долго пребывать в одном и том же состоянии без того, чтобы не получить значительной магнитной силы. Но в действительности, напротив, очень хорошо известно, что среди бесчисленных пород железных руд существуют лишь немногие, получившие в удел от природы магнитную силу. Итак, теория, на первый взгляд, приводит к выводам, которые не вполне согласуются с опытом.

349. Обычно авторы минералогических сочинений, проводят различие между железными рудами *магнитоупорными* и *немагнитоупорными*.[83] Вторым термином они называют те руды, которые без всякой дальнейшей обработки, в том виде, в каком их извлекают из недр земли (будь то в больших кусках или раздробленными в весьма мелкий песок), притягиваются магнитом, а первым термином они обозначают те, на которые при тех же условиях магнит не оказывает никакого действия. Сперва рассмотрим несколько более тщательно природу более активных руд, которые называются магнитоупорными. Выше я доказал достаточно убедительными доводами, что магнит не притягивает никакого другого тела, кроме другого магнита, т. е. кроме тела, которое приобрело магнитную силу из какого-либо иного источника, либо только благодаря тому, что его приблизили к магниту, действию которого его подвергают. Поэтому я заметил, что из моей теории можно сделать правильное заключение, что магнитоупорные железные руды совершенно не в состоянии воспринимать магнитную силу. Итак, я без труда понял причину, почему существует столько пород железных руд, которые, хотя и лежали погребенными в недрах земли в течение

многих столетий, тем не менее не восприняли ничего в результате длительной деятельности земного ядра. Так как все магнитоупорные железные руды совершенно не в состоянии воспринимать магнетизм, неудивительно, что будучи вырыты из недр земли, они не оказываются обладающими силой, воспринять которую они не в состоянии.

350. Я считаю долгом осторожного естествоиспытателя не доверять безрассудно теории (в какой бы степени она ни представлялась правдоподобной) настолько, чтобы пренебрегать проверкой правильности выводов из нее путем опыта. Поэтому я и решил исследовать, подтверждается ли также и свидетельством опыта то, что магнитоупорные железные руды совершенно не в состоянии приобретать какой бы то ни было магнетизм. Есть руда, принадлежащая к числу магнитоупорных железных руд, один из видов гематита, которую называют кровавиком.[84] Я придал нескольким кускам этой руды форму параллелепипеда, длиной приблизительно в $1^1/_2$ дюйма, а толщиной в $^1/_4$ линии, и пытался при помощи самых сильных искусственных магнитов, способом, подробно описанным в предыдущей главе, придать им магнитную силу, но, как я ни старался, я заметил, что все мои попытки были тщетными. Я получил затем от одного из своих друзей какую-то разновидность железной руды, как полагают, привезенную из Сибири, которой сама природа придала правильную форму прямоугольного параллелепипеда и которая была из группы магнитоупорных руд, и оказалось, что ни довольно большие ее куски, ни самый мелкий песок, полученный в результате ее размельчения, не притягивались даже самым сильным магнитом. Кусок этой руды я положил, действуя по способу, описанному выше, между двумя самыми сильными искусственными магнитами и на несколько суток оставил в таком положении, но мои попытки были тщетны: по истечении этого времени этот кусок не обнаружил ни малейшего признака магнетизма. Достаточно подкрепив свою теорию этими опытами, я считаю, что не рискую

впасть в ошибку, если буду в дальнейшем считать полученный теоретическим путем вывод (что все магнитоупорные железные руды не способны воспринимать магнитную силу), правильным и соответствующим данным опыта, и тем же буду объяснять то, что эти руды, заключенные в недрах земли в течение многих столетий, никогда не получают этой силы.

351. Итак, хотя поставленный вопрос в отношении магнитоупорных железных руд можно считать разрешенным, тем не менее может остаться сомнение, поскольку речь идет и о другой группе руд, которые называются немагнитоупорными. Поскольку они притягиваются магнитом, наша теория вынуждает нас притти к выводу, что они могут приобретать магнитную силу, и они действительно приобретают магнитную силу, когда притягиваются магнитом. Итак, они в состоянии воспринимать магнитную силу; поэтому должно казаться, что, будучи заключены в недрах земли, они по необходимости должны приобретать магнитную силу под непрерывным воздействием магнитного ядра. Это кажется тем более несомненным, что и опытным путем легко показать, что все эти руды, будучи притягиваемы магнитом, без труда наделяются магнитной силой. Тем не менее совсем не трудно рассеять сомнения, которые возникают вследствие этого, если только читатель соблаговолит уделить хоть немного внимания следующим соображениям. Прежде всего, очевидно само по себе, что самое свойство этих железных руд, заключающееся в том, что они немагнитоупорны, т. е. что они поддаются магнитному притяжению, может проявляться в различных степенях. Действительно, легко понять, что существуют руды, которые являются немагнитоупорными лишь в незначительной степени, и существуют другие, которые являются немагнитоупорными все в большей и в большей степени. Вообще, согласно основам нашей теории, чем менее тело притягивается магнитом, тем меньшую магнитную силу оно приобретает при магнитном действии одной и той же величины. Действительно, из числа немагнитоупорных руд найдутся и такие, которые могут

приобретать только слабую степень магнитной силы, и такие, которые приобретают бо́льшую силу и более доступную чувствам. Магнитная сила первых не устанавливается наблюдением, если опыты ставятся сравнительно грубо, и она явным образом постигается чувствами только в том случае, если к исследованию ее будет приложена большая забота и ловкость. С одной стороны, с этими рудами обычно имеют дело добытчики металлов, люди грубого склада, более интересующиеся выгодой, чем физическими исследованиями, а с другой, пожалуй, и никому из физиков не пришло в голову подозревать, что эти руды обладают магнитной силой, и поставить опыты для исследования этого; по этим-то причинам эти руды обычно считаются недейственными и ими совершенно не интересуются. Только руды, магнитная сила которых столь велика, что действует даже на грубые чувства, обычно считаются магнитными и продаются под именем магнитов.

352. То, что это мое подозрение не лишено основания, мне показали, кроме прочего, некоторые опыты, поводом для постановки которых послужили некоторые сибирские немагнитоупорные железные руды. Мне была доставлена эта руда под именем зубцоватой руды,[65] имеющая, как я полагаю, некоторое сродство с красным железняком. Она расщепляется на тонкие листики и имеет ржаво-черноватый металлический цвет, если же ее растереть, то получается красноватый порошок, который очень трудно отличить от растертого в порошок красного железняка. Однако эта руда в том отношении резко отличается от красного железняка, что магнит заметным образом притягивает ее в виде порошка. Я тотчас же стал подозревать, что эта руда может стать магнитной, и это подозрение меня не обмануло. Когда я исследовал ее при помощи очень чувствительной магнитной стрелки, то заметил, что один из ее кусков, который никогда и не нюхал магнита, вызывает вполне ощутимое притяжение и отталкивание, как это бывает с настоящими магнитами. Я обращаюсь к тем из

физиков, у которых достаточно времени и есть для этого подходящий случай, с просьбой поставить такое же исследование и над другими немагнитоупорными железными рудами, которые обычно не считаются магнитными; нет сомнения, что бесчисленные примеры убедят их в правильности моего взгляда.

353. Нельзя умолчать и о другом относящемся сюда соображении. Выше мы указали уже, что мягкое железо хотя и способно воспринимать значительную степень магнетизма, но не способно его сохранять. Поэтому, вероятно, существуют и железные руды, имеющие то же свойство, что и мягкое железо, т. е. и они, подвергшись действию магнита, приобретают значительную силу, но, как только их удаляют от магнита, теряют или весь свой магнетизм, или, по крайней мере, бо́льшую его часть. Такие руды окажутся немагнитоупорными, и они будут притягиваться магнитом с значительной силой. Будучи заключены в недрах земли или рудника, они, несомненно, обладают большой и вполне ощутимой магнитной силой, но, будучи вырыты и приведены в другое положение, они тотчас же теряют эту силу. Как мне кажется, к этому типу относится одна порода черного песка, который очень часто находят по всей поверхности земного шара, но особенно часто у берегов моря. Этот песок очень сильно притягивается магнитом, во всяком случае, не в меньшей степени, чем железные опилки; однако обнаружено, что если им плотно набить трубку и намагнитить, то он получает лишь немного магнитной силы.

354. Хотя все изложенное выше должно было совершенно рассеять всякие сомнения, которые могли бы появиться, тем не менее, я не мог на этом успокоиться. Я жаждал установить путем исследования, откуда берется эта замечательная разница между железными рудами: почему одни из них вовсе не поддаются воздействию магнита, другие же следуют магнитному притяжению и охотно воспринимают магнитную силу. Я без труда заметил, что в этом нельзя обвинять

бедность металлом магнитоупорных железных руд, хотя такое объяснение и могло бы притти в голову: ведь в этот класс входят и руды, чрезвычайно богатые металлом. Такова, напр., порода гематита, которая называется кровавиком и о которой я говорил выше: если обработать как следует 100 фунтов этой руды, то можно получить до 80 фунтов чистого металла. Тогда я вспомнил, что, как сообщает большинство авторов металлургических трудов и очень многие физики, магнитоупорные железные руды начинают притягиваться магнитом, если их раскалить на углях до белого каления, что называется обжигом, или, если они сжигаются в тигле, путем прибавления флогистона,[86] или любых горючих веществ до белого каления. Решив поставить такой опыт, я сильно раскалил добела на углях указанные выше (§ 348) магнитоупорные руды, а именно — кусок красного железняка и сибирской руды; когда они были охлаждены, они, как я заметил, не только стали притягиваться магнитом, но я смог даже передать им при помощи искусственных магнитов, применяя способы, описанные в предыдущей главе, весьма ощутимый магнетизм. Таким путем стало ясным, что накаливание или обжигание путем прибавления флогистона делает магнитоупорные руды способными к восприятию магнетизма; однако все еще недостаточно ясно, по какой причине это происходит и в чем состоит то изменение, которое накаливание производит в рудах и благодаря которому руды начинают притягиваться магнитом. Когда я придумывал разнообразные объяснения этого, мне пришли в голову различные гипотезы, которые я охотно отдаю на суд более опытных, чем я, специалистов в вопросах минералогии.[87]

355. Как я полагаю, немагнитоупорные железные руды — это те, которые содержат чистое железо в виде металла (самородное железо),[88] а магнитоупорные — это те, в которых железо не находится в чистом виде, но лишено какой-то из составляющих его частей или, если можно так выразиться, в которых железо находится в минерализованном виде. Мне

хорошо известно, что, по мнению большинства минералогов, из рудников никогда не добывается чистое железо, имеющее вид металла, но я позволю себе возразить на это, что такой взгляд не получает достаточного подтверждения ни в опыте, ни в тех доказательствах, которые обычно приводятся. Прежде всего, что касается опыта, то кусок чистого самородного железа, которым владеет г. Маркграф, знаменитейший химик королевской Академии наук в Берлине,[89] делает совершенно несомненным возможность существования самородного железа. Тех же, которые полагают, что я проповедую нечто противоречащее показаниям чувств, утверждая, что естественные магниты и другие немагнитоупорные железные руды содержат чистое железо, я просил бы обратить внимание на следующее. Возможно, что в этих рудах мельчайшие частицы чистого железа чрезвычайно перемешаны с частицами камней, земли и других инородных вещей и совершенно окружены ими и что поэтому каждая отдельная частица так мала и так закрыта другими частицами, что ее нельзя заметить ни простым, ни вооруженным глазом. Прекрасно известно, что это иногда случается с золотом, металлом, который встречается только в чистом виде в виде самородков; в таких случаях обычно говорят, что золото вкраплено[90] в камень. Что же касается доказательств, при помощи которых опровергается возможность добывания из рудников чистого и самородного железа, то они обычно исходят из того, что железо в очень большой мере подвержено порче. Ибо всякое, разлагающее железо, вещество, даже простая вода, может без труда подвергнуть порче чистое железо, лишив его металлического вида; отсюда видно, что если даже допустить, будто иногда в рудниках содержится чистое железо, то все же невозможно, чтобы оно в течение значительного времени сохраняло это состояние, но, наоборот, оно должно через короткое время подвергнуться порче. Однако я позволю себе опять возразить на это следующее: вполне возможно, что какая-либо частица чистого железа,

заключенная в руде, так покрыта и окутана частицами земли и камня, что разлагающие железо вещества не имеют возможности ни проникнуть к этой частице, ни подвергнуть ее порче. Так, если, напр., я предположу, что в магнитном порошке, описанном в § 351, каждая песчинка содержит ядро, состоящее из чистого сплошного железа, но окруженное со всех сторон, точно оболочкой из стекла, каменной материей, то легко понять, каким образом эта железная частица может противостоять не только дождевой или морской воде, которая будет ее ежедневно смачивать, но, что еще важнее, даже кислым спиртам[91] (как показывает опыт, этот вид песка под влиянием этих спиртов не подвергается никаким изменениям). Действительно, каменная материя, которая окружает частицу железа, заключенную в ядре, таким же образом защищает ее от действия разлагающих веществ, как стеклянный герметически закупоренный сосуд защищает заключенное в нем железо против действия воды, в которую его погружают.

356. Эти соображения показывают, что я защищаю не столь уже нелепый взгляд, утверждая, что могут существовать такие железные руды, которые содержат чистое железо, имеющее вид металла. Какова причина, побуждающая меня считать, что немагнитоупорные руды имеют такую природу, можно понять из следующего. Опыт учит, что магнитоупорные железные руды путем накаливания становятся подверженными действию магнита и таким путем приводятся в то состояние, которое без всякой обработки, от самой природы получили немагнитоупорные руды. Если же мы обдумаем, какое изменение производит накаливание в рудах, то представляется весьма вероятным, что оно состоит в том, что благодаря накаливанию серные и горючие частицы соединяются с содержащимися в руде частицами металла. Действительно, когда руды раскаляются добела, флогистон,[93] исходящий из углей, получает возможность проникнуть в них и соединиться с частицами металла; такой взгляд подтверждается тем, что руды становятся в большей степени под-

верженными действию магнита, когда они сжигаются на сильном пламени в тигле с прибавлением большого количества горючих веществ, чем когда они только доводятся до белого каления на открытом пламени углей; этот довод настолько убедителен, что, как мне кажется, вряд ли требуется еще что-либо для его полного подтверждения. Теперь обратим еще внимание на те изменения, которые может произвести флогистон, присоединяясь к руде и тесно соединяясь с ней благодаря действию сильнейшего пламени. Для этого следует вспомнить, что хотя природа металлов нам до сих пор еще мало известна, однако на основании не вызывающих сомнения опытов установлено, что все металлы состоят из твердой и хрупкой части, которую химики обыкновенно называют *металлической землей*, и из серы или флогистона; как известно, именно последней из этих частей металлы обязаны своими металлическими свойствами, т. е. тягучестью и тем особым блеском, который мы называем металлическим. Итак, я, как мне кажется, не скажу ничего, что не соответствовало бы полностью основам металлургии, если я буду утверждать следующее: магнитоупорные железные руды, которые добываются из недр земли, содержат только первобытную железную землю, в которой нет еще флогистона, необходимого для возникновения металлических свойств; когда же эти руды подвергаются накаливанию, т. е. цементации,[94] с горючими телами, тогда с этой железной землей соединяется флогистон, которого ей нехватало, после чего его частицы, смешавшись с рудой, приобретают природу настоящего металла.

357. Далее, обратим внимание на следующее: магнитоупорные железные руды путем накаливания и цементации приводятся в то состояние, в котором пребывают немагнитоупорные руды; при этом, по всей вероятности, все те изменения, которые происходят в рудах вследствие накаливания и цементации состоят в том, что примешанная к ним железная земля соединяется с флогистоном и превращается в настоящее чистое железо; поэтому мы невольно приходим к вы-

воду, что немагнитоупорные железные руды, какие добываются из рудников, без всякой обработки содержат в себе совершенное железо, обладающее свойствами металла. Но может возникнуть новый вопрос относительно происхождения этих руд, ибо, повидимому, их возникновение можно представить себе двояким образом. Либо природа, произведя руду, одновременно и тем же самым действием произвела и совершенное самородное железо, так что уже с самого начала возникновения руды она содержала чистый металл. Либо, наоборот, когда возникала руда, она не включала в себя настоящего металла, но только железную землю, причем в ней нехватало еще флогистона, который необходим ей для того, чтобы она могла называться совершенным металлом, а затем эта руда, бывшая первоначально магнитоупорной, превратилась в немагнитоупорную благодаря какому-нибудь случаю, вследствие которого к металлической земле присоединился флогистон и сама она превратилась в настоящий металл. Тот, кому хорошо известно, каким изменениям подвергся земной шар с древнейших времен, не сможет отрицать, что такие случаи могли иметь место.[95] Действительно, подземный огонь, воспламенившись по какой-либо случайной причине, мог зажечь магнитоупорные железные руды, еще бывшие тогда скрытыми в лоне земли, и превратить их в такие, которые содержат чистое железо и притягиваются магнитом. Хотя я не решаюсь утверждать, что первый способ возникновения немагнитоупорных железных руд совершенно не возможен, однако мне представляется очень вероятным, что природа применяет обычно именно последний способ для производства магнитных железных руд, и я не счел бы нелепым, если бы кто-либо пожелал утверждать, что все магниты, которые мы добываем из земли, и все прочие немагнитоупорные руды были некогда в сильной мере обожжены подземным огнем.

358. Быть может я говорил более смело, чем следует, о вещах, с которыми я не совсем знаком. Поэтому я предо-

ставляю тем, которые более опытны в минералогии, чем я, вынести обоснованное суждение по этому вопросу, а сам перехожу к исследованиям, более мне близким, и возвращаюсь в привычную мне область. Приведенные выше опыты показывают, что я стремился при помощи накаливания и цементации сделать годными для восприятия магнитной силы магнитоупорные железные руды, которые в том виде, как мы их получили из рук природы, были совершенно невосприимчивыми к магнетизму. Отсюда легко могло возникнуть предположение, что тот прием, при помощи которого руды, совершенно противящиеся восприятию магнитной силы, можно сделать годными для ее получения, может значительно увеличить способность к восприятию этой силы и в тех рудах, которые и сами по себе не сопротивляются восприятию магнитной силы, если он будет применен к ним. Отсюда я заключил, что естественные магниты путем обжигания в сильном пламени можно привести в такое состояние, что они будут обладать гораздо большей степенью магнетизма, чем до этого. Мне казалось также, что это предположение прекрасно согласуется с тем, что я только что изложил и что я говорил о причине различия между рудами магнитоупорными и немагнитоупорными. Если принять, в согласии с моими гипотезами, что, благодаря накаливанию, железная земля, содержащаяся в руде, тесно соединяется с горючим началом и что она, если можно так выразиться, превращается в настоящее железо, от весьма сильного накаливания магнита можно ожидать того результата, что содержащееся в нем железо станет более чистым и поэтому камень при помощи накаливания добела сможет воспринять большее количество магнетизма. Таковы были соображения, приведшие меня к весьма изящному способу увеличивать силы естественных магнитов до степени, превышающей обычную.

359. Эти мои ожидания не были напрасными; в этом меня убедили опыты, некоторые из коих я здесь весьма тщательно опишу, частью для того, чтобы внушить больше доверия

к моим утверждениям, частью же для того, чтобы более ясно показать весь тот метод, при помощи которого мне удается делать более благородными естественные магниты. Первый магнит, над которым я произвел опыт, имел правильную форму параллелепипеда и состоял из чёрноватой массы, лишенной металлического блеска, очень однородной и плотной, словом, был таким, каким обычно всегда бывают магниты худшего качества. Он был из класса слабых магнитов, весил без ярма $2^{53}/_{64}$ унции; а вместе с ярмом вес его оказался равным $3^{62}/_{64}$ унции; он мог поднимать лишь немного больше собственного веса — он поднимал только 4 унции. Этот магнит без ярма я поместил между двумя стальными прутами значительной величины и наделенными значительной магнитной силой, действуя по способу, описанному в предыдущей главе, и через полчаса я обнаружил, что его сила увеличилась настолько, что после того, как к нему было снова присоединено ярмо, он стал поднимать до $12^1/_2$ унции. Этот магнит я подверг действию открытого пламени углей и держал его в течение получаса сильно раскаленным добела. Когда он остыл, я обнаружил, что он потерял почти всю магнитную силу, которой он прежде обладал. Затем я поместил его на четверть часа между теми же прутьями, и после этого обнаружил, что он стал поднимать теперь, находясь в ярме, $18^1/_2$ унции. Таким образом, этот магнит после накаливания получил от тех же магнитных прутьев в меньшее время много бóльшую силу, чем ту, которую он мог получить лишь за долгий промежуток времени, прежде чем он был доведен до белого каления. Итак, очевидно, что способность этого магнита воспринимать магнетизм, благодаря примененному мною приему, настолько увеличилась, что стала относиться к той, которой он прежде владел, как 37:27, т. е. приблизительно, как 7:5.

360. Другой магнит, весивший без ярма $4^1/_2$ унции, а с ярмом $5^7/_8$ унции, состоял также из однородной и плотной материи, но, повидимому, она была богаче металлом, чем описанные

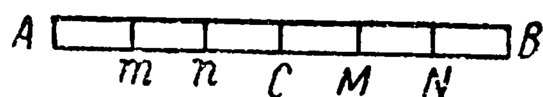
выше. Этот магнит поднимал, если к нему было присоединено ярмо, $6^3/_4$ унции. До накаливания он, будучи положен между искусственными магнитами на полчаса, не мог поднять более $22^3/_4$ унции. После же того, как он был раскален добела в пламени углей и оставался в таком состоянии в течение получаса, а затем был охлажден, он потерял почти всю свою силу; когда же он после этого был положен между магнитными прутьями на четверть часа, он поднимал уже без труда $37^1/_2$ унции; его способность воспринимать магнитную силу увеличилась благодаря моему приему в отношении 91 : 75, т. е. в отношении приблизительно 8 : 5. Так как в этом случае я получил более значительное увеличение, чем в описанном выше магните, то, повидимому, этот способ оказывается тем действеннее, чем более благородным был применявшийся магнит, до того как он был доведен до белого каления. Последний магнит, о котором здесь идет речь, показал мне также, что получаемое таким путем увеличение сил достаточно устойчиво и что, если намагничивание произведено надлежащим образом, магнит не легко теряет его снова. Когда я подверг его наблюдению за несколько дней до истечения шести месяцев, я обнаружил, что он поднимал такой же вес, как и в начале этого промежутка.

361. Этот прием, о котором я здесь подробно говорю, может быть, повидимому, доведен до еще большего совершенства и в него можно внести еще дальнейшие исправления. Прежде всего ясно, что очистке железа, содержащегося в руде, можно помочь не только накаливанием в открытом пламени углей, но того же результата можно достигнуть также путем цементации с помощью сильного пламени, с прибавлением большого количества флогистона. Как легко понять, цементация оказывается несомненно более действительным средством для получения этого результата, чем простое накаливание на углях. Далее, хотя накаливание или цементация весьма содействуют очищению железа, тем не

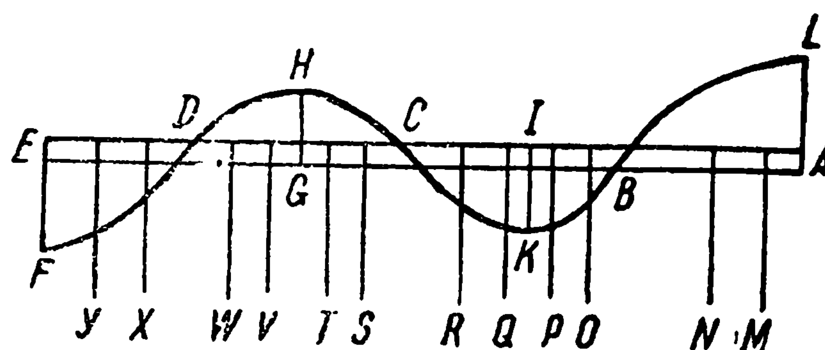
менее очень хорошо известно, что раскаленное железо, будучи постепенно охлаждаемо, становится очень мягким, и поэтому оно весьма способно воспринимать магнетизм, но совершенно не способно его удерживать. Поэтому нам представляется очень полезным, если магнит, подвергнутый в достаточной мере цементации и сильно раскаленный добела, будет внезапно погружен в воду. Таким способом железо, очищенное при помощи накаливания или цементации, уменьшается в объеме и вместе с тем становится более твердым и более способным сохранять магнетизм.[96]

362. Полагаю, что не следует пропустить представившийся мне здесь случай сказать несколько слов о наилучшем способе обращения с естественными магнитами. Я посоветовал бы прежде всего придать магниту, добытому из рудника, при помощи оттачивания его на оселке из песчаника форму правильного параллелепипеда, наблюдая при этом, чтобы он вышел как можно более длинным. Ведь, при прочих равных условиях длинный магнит способен получить бóльшую магнитную силу, чем более короткий, как это было показано выше. При этой обработке нет необходимости сколько-нибудь считаться с расположением естественных полюсов магнита, но достаточно, не обращая внимания на полюсы, придать ему, поскольку это возможно, наилучшую форму. Приготовленный таким способом магнит подвергнем цементации и, накалив его добела, в таком виде погрузим в холодную воду. Затем поместим его между двумя самыми сильными магнитными стальными прутьями; смотря по обстоятельствам, их может быть и большее число. Затем натрем его искусственными магнитами по методу двойного прикосновения и выберем полярными сторонами магнита те, которые больше всего отстоят друг от друга. После этого обычным способом снабдим магнит ярмом, и получим магнит самый благородный и по качеству руды, и по форме, и наделенный в наибольшей степени, поскольку это только возможно, магнитными силами.

363. Чтобы покончить с этим исследованием, посвященным естественным магнитам, я хочу, с разрешения читателя, присоединить сюда еще несколько соображений, о которых здесь уместно будет сказать по ходу изложения. Очень печально, что я не мог найти верных и тщательных наблюдений о положении магнитов в рудниках, из которых они добываются. Было бы очень желательно, чтобы были поставлены искусные наблюдения, чтобы определить, действительно ли северный полюс магнита, до того как он вырублен из шахты, обращен к северу земли, а южный полюс — на юг, и не наблюдается ли иногда обратного — именно, что та сторона магнита, которая была прежде обращена к северу, после того как



Фиг. CVII.



Фиг. CVIII.

магнит добыт из шахты, оказывается его южным полюсом, а та сторона, которая была обращена к югу, — северным полюсом магнита. Как мне кажется, и то и другое может иметь место. Если AB (фиг. CVII) — нетронутый слой руды, ставший магнитным под действием земного ядра, то легко понять, что действие ядра стремится к тому, чтобы конец B, обращенный на север, стал северным полюсом, а конец A, обращенный к югу, южным; однако ясно, что, несмотря на это, возможны два случая. Либо слой AB приобрел только два полюса, либо их большее число, и они следуют друг за другом как последовательные точки. Пусть имеет место первый случай, и пусть C — центр магнитного слоя. Тот, кто пожелает вспомнить сказанное мною в конце первой главы, без труда поймет следующее: если в любом месте вырезать из этого слоя кусок MN или mn, то этот кусок будет

отличаться тем свойством, что его конец M или m, который прежде был обращен к югу, окажется его южным полюсом, а тот конец, который прежде был обращен к северу, — N или n, окажется северным. Если же слой AE (фиг. CVIII) окажется имеющим последовательные точки, то в зависимости от различия между теми местами, в которых кусок вырублен из руды, будет различным и результат. Пусть линия $LBKCHDF$, аппликаты которой в точках B, C и D равны нулю, а в точках I и G достигают максимума, есть кривая плотностей магнитной жидкости; если A есть конец, обращенный к отрицательному полюсу земного ядра, а E — конец, обращенный к положительному его полюсу, то ясно, что если будет вырублен

кусок MN	между	A и B, то M	будет	положительный полюс,	N	отрицательный
— OP	—	$B—I$, — O	—	—	— P	—
— QR	—	$I—C$, — Q	—	отрицательный	— R	положительный
— ST	—	$C—G$, — S	—	—	— T	—
— VW	—	$G—D$, — V	—	положительный	— W	отрицательный
— XY	—	$D—E$, — X	—	—	— Y	—

Как ни желательны тонкие наблюдения, относящиеся к этому вопросу, но трудно надеяться, что они будут достаточно правильными. Действительно, весьма опытные в науке физики редко имеют случай производить такие исследования, а те, которым обычно приходится иметь дело с рудами, т. е. добытчики металла, или не обращают внимания на такие вещи, или не заслуживают большого доверия.[97]

364. В начале этой главы, говоря о направляющей силе магнитной стрелки, я указал, что, как показывает опыт, наклонение и отклонение морского компаса подвержено стольким неправильностям, что можно сомневаться, в чем здесь дело: в неправильной ли форме земного ядра или же в неправильном распределении в нем магнитной жидкости. Нам открывается в этом случае новая причина, содействующая образованию этих неправильностей, а может быть, и являющаяся единственной их причиной. Погребенные под поверх-

ностью земли магнитные руды, несомненно, занимают в разных местах земли большие участки, неравномерно распределенные по всему земному шару; действуя на магнитную стрелку, они сдвигают ее с того направления, которое она занимала бы, если бы существовало только земное ядро. Далее, так как, как можно предположить с известной вероятностью, ежедневно возникают новые слои руд, а старые разрушаются, то, может быть, причину наблюдаемых изменений в положении магнитной стрелки надо искать в возникновении и разрушении магнитных руд, а также и в других изменениях, которые могут произойти. Как мне кажется, с этим предположением прекрасно согласуются сообщения о том, что иногда после бурных землетрясений направление магнитной стрелки внезапно подвергается значительным изменениям. Действительно, нетрудно видеть, что землетрясение ломает слои магнитных руд и, сломав их, разбрасывает в разные стороны; таким образом они могут производить значительные изменения в направлении стрелки компаса. Очень печально, что не существует достаточно искусно поставленных исследований этого вопроса. Было бы очень желательно,. чтобы по соседству с огнедышащими горами, извергающими вместе с другими веществами и железную руду, были бы поставлены исследования, чтобы выяснить, не претерпевает ли ощутительного изменения направление магнитной стрелки после бурных извержений. Если эти мои мысли не совсем далеки от действительности, то, очевидно, тщетна надежда тех, которые думают, что закон, согласно которому изменяется магнитное склонение или наклонение, либо уже найден, либо когда-нибудь будет выведен. Следуя моему взгляду, необходимо считать, что к изменениям ядра, которые, быть может, носят более правильный характер, присоединяются еще и изменения в рудах, скрытых неглубоко под поверхностью земли, и что последние играют известную роль в изменениях направления стрелки. Но ясно, что эти изменения в рудах столь же трудно подвести под

какой-либо постоянный закон, как столь капризные перемены в погоде.[98]

365. Мы уже посвятили достаточно времени рассмотрению явлений, имеющих место вследствие того, что действие земного ядра на железо и на железные руды, содержащие чистое железо и сохраняющиеся долго в надлежащем положении, вызывает магнетизм, который лишь с трудом может быть снова уничтожен в короткое время. Но, кроме того, есть и другие способы, которые могут за короткое время привести к тому же результату. Так, напр., накалим добела не сильно намагниченный железный прут, а затем пусть он, сохраняя то положение, которое необходимо для восприятия магнитной силы, либо подвергнется внезапному охлаждению, либо, что еще лучше, будет погружен внезапно в холодную воду. Тогда прут приобретет значительную степень магнитной силы, которая, при изменении положения прута или при полном его повороте не сразу уничтожается и не сразу переходит в свою противоположность. Необходимо обратить внимание на то, что если опыт ставится в наших областях, то нижняя оконечность получит северный магнетизм, а верхняя — южный.

366. Этот опыт прекрасно согласуется с нашей теорией. Мастера, работающие над железом и сталью, знают, что в результате накаливания железо становится более мягким, а если затем последует охлаждение, то оно снова затвердевает; оно получает тем бóльшую твердость, чем в большей степени и быстрее оно, при прочих равных условиях, охлаждается. Итак, поскольку в мягком железе магнитная жидкость движется с большей легкостью, чем в более твердом, ясно, что действие земного ядра сделает раскаленный добела прут в большей мере магнитным, чем оно сделает магнитным такой же прут, но в холодном виде. Поэтому в раскаленном пруте AB из одной части BC в другую AC перегоняется большее количество жидкости, чем это могло бы произойти до того, как прут был накален добела. Когда

мы охлаждаем прут, который в то время, как он был накален, получил большую степень магнитной силы, он внезапно становится опять твердым, и притом теперь уже весьма твердым; следовательно, так как благодаря этому увеличивается и сопротивление продвижению магнитной жидкости через поры прута, замедлится и действие силы, побуждающей жидкость переходить из BC в AC; жидкость, накопившаяся в части AC, будет принуждена там остановиться и не сможет возвратиться в часть BC. Итак, теперь уже вполне ясна причина того, что при этом опыте прут и приобретает бо́льшую степень магнетизма, чем не будучи накаленным, и притом столь большую, что при повороте прута она не может сразу опять уничтожиться.

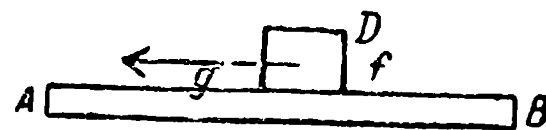
367. В то время, как я размышлял об этом, мне пришло в голову соображение, которое заслуживает быть приведеным здесь. В предыдущем параграфе я отметил, что вследствие холода железо становится более твердым и менее гибким. В пользу безусловной правильности этого положения свидетельствуют обычные опыты, которые показали, что мягкие или не очень твердые куски железа, если их подвергнуть действию сильного холода, становятся очень твердыми и хрупкими. Итак, нам кажется, что если намагничивается стальной прут, то степень насыщения зависит в значительной мере от степени теплоты, которой он обладает. Действительно, один и тот же прут не может получить такую степень магнетизма летом, когда воздух теплый, как в том случае, когда он будет получать магнитную силу зимой, в то время, как он подвергается действию сильного холода. Этот вопрос стоит того, чтобы исследовать его на опыте, но надо признаться, что такие опыты требуют большой ловкости, если мы хотим избежать всякого рода самообмана.

368. Существует еще третий способ, благодаря которому прут под действием земного ядра может приобрести стойкий магнетизм, не уничтожающийся при повороте прута. В то

время, как прут остается в положении, необходимом для получения магнетизма, следует сильно потрясти его или привести в сильное движение его мельчайшие частицы любым другим способом. Тогда окажется, что прут приобрел довольно значительную степень магнетизма, — бóльшую, чем он мог бы приобрести, если не трясти его; если его перевернуть, то его магнетизм не исчезнет и не перейдет в свою противоположность. Это явление не представляет никаких трудностей для объяснения. Оно очень убедительно объясняется, если мы примем, что движение магнитной материи бывает более свободным, когда трясут прут и когда его частицы приходят в движение от сильного сотрясения, чем в том случае, когда эти частицы находятся в полном покое. Если принять это положение, то сразу же становится ясным, почему прут, приведенный в сотрясение, получает бóльшую степень магнетизма, чем не подвергающийся сотрясению. Действительно, пока колеблются минимальные частицы, из которых состоит прут, магнитная материя может более свободно продвигаться по порам железа; поэтому она будет в большей мере повиноваться силе, действующей на нее и побуждающей ее к переходу из части BC (фиг. CV) в часть AB, и жидкость будет в большей степени накапливаться в AB и удаляться из BC. По этой причине весь прут получит больше магнетизма, чем могло бы произойти, если бы не было применено сотрясение. Если же после этого повернуть прут, то хотя действие земного ядра и стремится уничтожить ранее полученный прутом магнетизм и передать ему противоположное состояние, однако это стремление не будет иметь результата, и так как жидкость будет теперь встречать большее сопротивление при продвижении, чем прежде, то магнетизм можно будет уничтожить только в том случае, если прут снова потрясти.[99]

369. Принимая, что магнитная жидкость легче повинуется силе, перегоняющей ее с одного конца прута к другому, когда частицы прута колеблются, чем когда они находятся в состоянии полного покоя, я, как мне кажется, не утвер-

ждаю ничего неправдоподобного. Без большого труда можно найти причину, в силу которой жидкость должна свободнее двигаться в порах колеблющегося и сильно сотрясаемого тела, чем в том случае, когда частицы тела находятся в полном покое. Пусть поверхность тела AB (фиг. CIX) соприкасается с другим маленьким телом D, притягиваемым телом AB с некоторой силой; ясно, что если какая-нибудь сила будет толкать эту частицу в направлении DA, то эта сила не произведет никакого движения и не сдвинет частицу D со своего места в направлении к A, исключая лишь тот случай, когда эта сила будет больше того трения, которое испытывает D, продвигаясь по поверхности AB. Если мы назовем это трение буквой f, а силу, толкающую частицу D к A, обозначим через V, то не может возникнуть никакого движения, пока будет $V<f$, если только частица D прикасается к плоскости AB. Но если немного приподнять частицу D и уничтожить непосредственное соприкосновение, то трение или совсем прекратится, или, по крайней мере, станет меньшим, а вследствие этого сила V сможет перейти в действие и сдвинуть частицу с места. Но ясно, что если тело AB будет приведено в сотрясение и частицы его придут в колебание, то тело D несколько отодвинется от поверхности AB, так что тесное соприкосновение прекратится, и поэтому тело D будет с большей легкостью повиноваться действующей на него силе. По этой-то причине, когда приходится опасаться, что трение может сделать обманчивыми результаты опытов, мы обычно предохраняем себя от результатов трения при помощи сотрясения. Поэтому производящие метеорологические наблюдения трясут барометр и лишь после этого относятся с доверием к той высоте, которую он показывает; поэтому и астрономы приводят в колебание свои инструменты, положение которых они определяют при помощи нивелира, состоящего из стеклянной трубки,



Фиг. CIX.

в которой заключен шарик с воздухом и спирт; точно так же, и те, которые производят тонкие наблюдения над магнитной стрелкой, потрясают доску, на которой она находится.

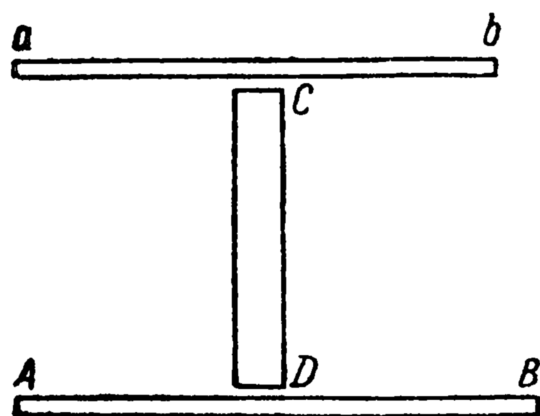
370. Само собою разумеется, что безразлично, каким именно образом мельчайшие частицы железного прута будут приведены в движение во время постановки исследуемого здесь опыта. Без сомнения, к числу тех причин, которые могут сильнейшим образом потрясти мельчайшие частицы железа, относится электрическая молния, либо произведенная при помощи Лейденской банки, либо вырывающаяся из облака, чреватого громом. Утверждая это, я не сомневаюсь, что получу одобрение всех тех, которые когда-либо подвергали свое тело так называемому электрическому потрясению. Итак, нетрудно понять, почему получается так, что железные предметы, к которым прикоснулась молния, довольно часто становятся сильно магнитными, а магнитные стрелки, как оказывается, либо теряют свою силу, либо меняют ее на противоположную; точно так же, как показали опыты Франклина, тонкие железные проволоки, после того как через них прошла электрическая молния, вышедшая из Лейденской банки, обычно становятся магнитными.

371. Как мне кажется, из сказанного вполне ясна причина того, что благодаря электричеству железные проволоки могут стать магнитными; поэтому нет нужды искать какую-либо другую причину; повидимому, ошибаются те, которые считают, что этот опыт бросает некий свет на таинственную связь между электричеством и магнетизмом.[100] Нет никакой причины, которая вынуждала бы нас допустить, что электрическая сила действует здесь, как таковая: в действительности весь этот результат без труда объясняется только сильнейшим сотрясением мельчайших частиц; электрическое потрясение не приводит здесь к какому-либо иному результату, чем это могло бы сделать любое другое сотрясение. Но я готов признать, что этот вопрос заслуживает нового

рассмотрения путем опытов, которые либо сделают мой взгляд совершенно несомненным, или (чего я, однако, не опасаюсь) смогут доказать его ложность. Это особенно необходимо потому, что опыты знаменитейшего Франклина мне кажутся несколько сомнительными. Заняться этим делом сам я до сих пор не имел возможности, так как болезнь, которая в течение очень долгого времени держала меня прикованным к постели, не давала мне возможности заняться приспособлением электрического аппарата для опытов такого рода, требующих очень сильной степени электричества, и постановкой самих опытов. Но я приложу усилия, чтобы удовлетворить в кратчайший срок все те претензии, которые еще могут быть мне предъявлены по этому вопросу.[101]

372. Нам осталось произвести еще одно исследование, которое следует считать одним из важнейших во всем учении о магнетизме. Оно относится к так называемому искусственному магнетизму, т. е. к способу, позволяющему без помощи естественного магнита передавать стальным прутьям значительную степень магнетизма. Как мне кажется, все учение об искусственном магните может быть удобно сведено в два пункта. Во-первых, при этом исследовании надлежит показать, каким образом стальные прутья могут быть сделаны магнитными без помощи какого бы то ни было другого магнита; во-вторых, надо показать способ, при помощи которого можно увеличить магнитную силу до степени насыщения, после того как прутья уже получат некоторое количество магнитной силы. По второму вопросу я уже вполне достаточно сказал выше: я не только подробно рассмотрел способы, применяемые другими, но дал еще новый способ, более удобный и приводящий к лучшим результатам, чем прежде найденные. Но до сих пор мною ничего не было сказано о способе (если можно так выразиться) добывания первых семян магнитной силы без помощи другого магнита. Весь этот способ зависит от того, что было объяснено выше, и без труда выводится из сказанного тогда.

373. Немагнитный прут *CD* из мягкого железа (фиг. CX), находящийся в вертикальном или другом подходящем положении под действием земного ядра, сразу же становится магнитным, причем в наших областях нижний конец *D* приобретает северный, а верхний *C* южный магнетизм; в южных областях земли порядок будет обратный. Поскольку прут *CD*, пока он находится в должном положении, может считаться настоящим магнитом, от него можно ожидать всех тех действий, которые может произвести магнит. Итак, если мы несколько раз натрем проволоку или железный прут *AB* прутом *CD* и его нижним концом *D* в направлении от *A* к *B*, то ясно из сказанного выше, что конец *A* должен получить северный, а конец *B* южный магнетизм.

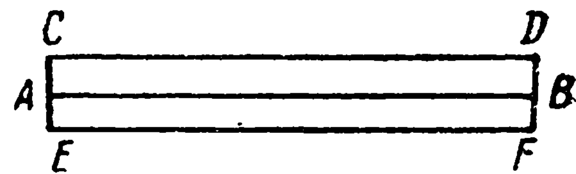


Фиг. CX.

374. Все это подтверждается и опытом, в чем всякий может легко убедиться. Из этого и из сходных с ним опытов некоторые физики сделали выводы, противоречащие, по моему мнению, действительности. Некоторые держались того взгляда, что, как показывает этот опыт, и магнетизм (совершенно так же, как электричество) может быть получен одним трением, и в этом они видели замечательный пример аналогии между той и другой силой. Другие пошли еще дальше и полагали, что они могут установить следующий общий закон: железо, подвергаясь натиранию другим, не магнитным железом, становится магнитным, причем всегда, как правило, тот конец, с которого начинается натирание, становится северным полюсом, а тот, которым оно кончается, южным. Я без всяких колебаний заявляю, что и то и другое предположение не соответствует действительности. Трение железа о железо, как таковое, совершенно не может произвести магнетизм: магнитная сила, возникающая в рассмотренном нами опыте, есть всецело результат передачи

магнитной силы, а не трения, так что, если бы кто-нибудь поставил этот опыт где-нибудь в пустоте, вдали от земли и прочих тел, обладающих магнитной силой, то он не мог бы получить ни малейшего следа магнетизма, хотя бы его труд продолжался целые века. Этот мой взгляд будет полностью доказан в дальнейшем изложении, из которого станет ясно с полной очевидностью, что все явления наилучшим образом согласуются с законами передачи магнетизма и, наоборот, совершенно противоречат тем законам, которые должны были бы существовать, если причиной было бы только трение, как таковое.

375. Я опасаюсь одного возражения, которое я считаю уместным сейчас же опровергнуть, так как это возражение на первый взгляд может служить оружием в руках тех, которые считают причиной, производящей магнетизм, трение железа о железо. Я показал выше, что в каждом заданном месте земли существуют такие положения железного прута, оставаясь в которых, он не может приобрести никакой магнитной силы под воздействием земного ядра. Такое положение прут займет, напр., если будет на магнитном экваторе расположен параллельно горизонту. Если предположить теперь, что прут CD (фиг. CXI) точно удерживается в таком положении, и если натереть его при помощи прута AB, то, повидимому, он не должен приобрести никакого магнетизма, если только верны мои предпосылки. Действительно, прут CD в указанных выше условиях не приобретает никакой магнитной силы под действием земного ядра, и поэтому, повидимому, передача магнетизма не может иметь места. Однако опыт обнаруживает нечто совсем иное: он показывает, что и в этом случае прут AB становится магнитным, хотя и в более слабой степени, чем в том случае, если бы прут CD находился в вертикальном положении. Итак, как видно из этого опыта, возникновение магнетизма является результатом только трения, а не передачи.



Фиг. CXI.

376. Это сомнение легко устранить, если только взвесить надлежащим образом то, что я изложил выше. Из моих утверждений вовсе не следует, что прут *AB*, находящийся в описанном выше положении, не получает вовсе никакого магнетизма; отсюда можно только заключить, что та степень магнетизма, которую он приобретает, значительно слабее той, которая имелась бы, если бы прут находился в надлежащем положении. Я вовсе не отрицал, что прут *AB* можно намагнитить так, что, напр., верхняя его половина *CDAB* приобретет южный, а нижняя *ABEF* северный магнетизм; я только утверждал, что вследствие того, что толщина прута обычно бывает очень малой, сила, полученная таким образом, будет лишь очень малой, почему я и имел право пренебречь ею в изложенных выше исследованиях. Итак, ясно, что прут *CD*, даже если он будет находиться в том положении, в котором мы его рассматривали в предыдущем параграфе, станет магнитным, хотя и в слабой степени; поэтому неудивительно и не противоречит моему взгляду, что при трении им о прут *AB*, последний становится магнитным. Ясно, в силу моей теории, что магнетизм, полученный таким образом, будет более слабым, чем в том случае, если бы для опыта был взят прут *CD*, находящийся в вертикальном положении, а это, как мы знаем, вполне согласуется с опытом.

377. Выше я назвал ложным второе правило, согласно которому при получении магнетизма трением железа о железо, тот конец, с которого трение начинается, становится северным полюсом, а тот, на котором оно кончается, южным. Нет нужды посвящать специальное рассуждение разоблачению лживости этого утверждения: в этом читателя в достаточной мере может убедить то, что будет сейчас изложено. Поэтому я считаю более целесообразным перейти к изложению некоторых выводов из моей теории. Пусть прут *CD* (фиг. CX) находится в вертикальном или в другом подходящем положении; если мы поставим опыт, то, как

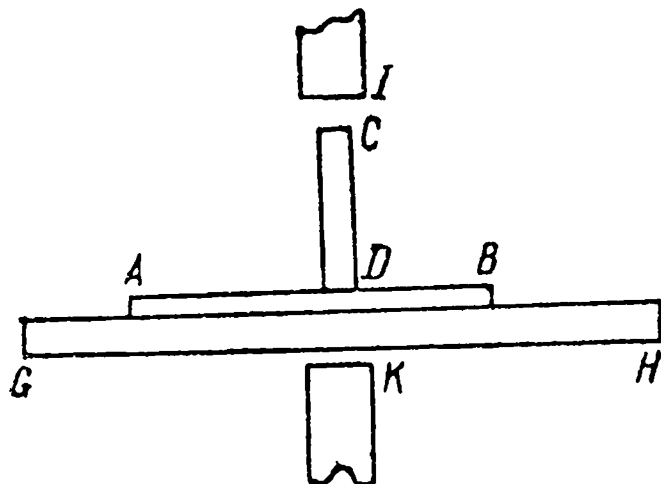
это вполне известно, нижний конец его станет северным, а верхний — южным полюсом. Поэтому, если мы натрем прут *ab* верхним концом прута *CD*, то следует ожидать совершенно того же результата, как тот, который мы получаем, когда натираем прут южным полюсом какого-либо магнита. Действительно, изложенное выше показывает, что в этом случае конец *a*, с которого начинается натирание, становится южным, а конец *b*, на котором оно кончается, северным.

378. Чтобы убедиться окончательно, подтверждает ли опыт те выводы, которые я сделал из моей теории, я исследовал железные щипцы, состоящие из мягкого железа, при помощи весьма чувствительной магнитной стрелки, чтобы удостовериться, есть ли в них устойчивый магнетизм или отсутствует. После того как я обнаружил, что его нет и что поэтому щипцы годны для нашего опыта, я положил на доску железную проволоку длиной приблизительно в полфута, имевшую в диаметре 1 линию и не обладавшую никакой магнитной силой, и, поставив вертикально щипцы, нижним их концом примерно 20 раз натер эту проволоку, начиная каждое натирание с *A* и кончая на *B*. Благодаря этому проволока *AB* приобрела ощутимую магнитную силу; конец *A*, с которого начинались натирания, оказался северным полюсом проволоки, а конец *B*, на котором они кончались, южным, как свидетельствовала весьма чувствительная магнитная стрелка.

379. Покончив с этим опытом, я снова поставил вертикально щипцы, но в обратном положении, так что конец, который прежде был обращен вниз, теперь был обращен вверх. Затем я, так же как раньше, подвергнув внимательному исследованию проволоку *ab*, стал натирать ее тем концом щипцов, который теперь стал верхним, соблюдая правило, чтобы каждое натирание начиналось с *a* и кончалось на *b*. Повторив эту процедуру приблизительно 20 раз, я обнаружил, что проволока стала в значительной степени

магнитной, но теперь конец a, с которого начиналось натирание, оказался южным полюсом, а конец b, на котором натирание заканчивалось, стал северным.

380. Таковы результаты опыта, когда он ставится в северном полушарии, в котором мы живем; если же повторить этот опыт в южном полушарии, то, несомненно, можно будет наблюдать противоположный результат. Ведь там нижний конец железа, находящегося в вертикальном или в другом надлежащем положении, окажется южным, а верхний — северным. Итак, необходимо констатировать, что те, которые на основании опытов, поставленных только в северном полушарии и притом не надлежащим образом, не усомнились выставить в качестве общего закона указанное правило, будто конец, с которого начинается натирание, получает северный магнетизм, а тот конец, на котором оно кончается, — южный, совершили серьезную ошибку.



Фиг. CXII.

381. Чтобы еще с большей очевидностью бросалось в глаза, что и в этом опыте все происходит так, как обычно бывает близ магнита, я поставил следующие опыты. На доску GH (фиг. CXII) я положил немагнитную [102] железную проволоку AB, а под доской, на расстоянии приблизительно в полфута я поместил весьма благородный искусственный магнит K, вверх его северным полюсом. Затем, взяв параллелепипед CD из мягкого, немагнитного железа и поставив его вертикально так, чтобы конец D находился как раз напротив полюса K, я примерно десять раз натирал проволоку AB, начиная каждое натирание с A и кончая его на B. Оказалось, что конец A стал южным, а конец B северным полюсом. Затем я оставил без изменения все условия опыта, за тем лишь исключением, что теперь магнит находился над

столом и вниз был обращен его северный полюс *I*. Теперь конец *A*, с которого начинались натирания, получил силу северного полюса, а конец *B*, на котором натирания кончались, — южного. Если же вместо северного полюса магнита, который я применял в этом опыте, я пользовался южным его полюсом, то оба опыта приводили к совершенно противоположному результату. Само собой вполне понятно, насколько эти явления сходны с теми, которые происходят на поверхности земли.

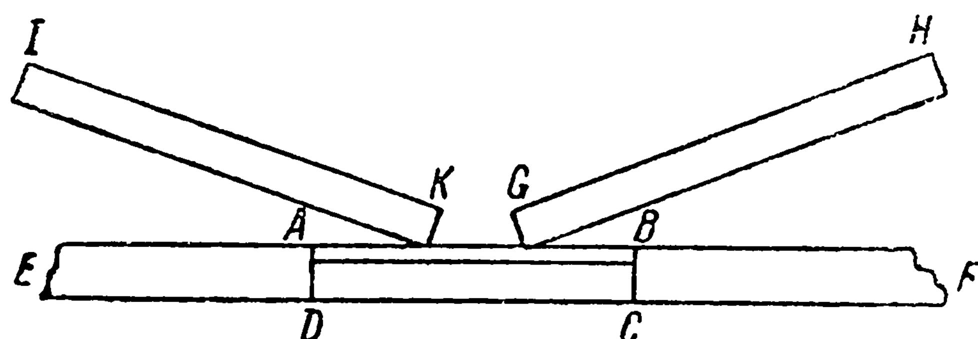
382. Способы получения первых следов магнетизма для приготовления искусственных магнитов без помощи естественных магнитов взяты из только что разобранных опытов. Было бы совершенно излишним снова рассматривать эти способы, прилагая к ним нашу теорию, так как они не представляют никаких затруднений. Однако я уверен, что доставлю удовольствие читателям, если изложу здесь некоторые найденные мною способы, вносящие исправления в обычные и улучшающие их результаты.

Я натолкнулся на них после того, как убедился, что ни Майчелль, ни Кэнтон не применяют способа двойного прикосновения при процедуре, с помощью которой они получают первые зародыши магнитной силы. Но так как мне были хорошо известны преимущества метода двойного прикосновения перед всеми другими, то я стал думать, каким способом можно было бы его применить в этой процедуре, и тогда мне пришли в голову два способа для получения этого результата, каждый из которых, как мне показал опыт, значительно превосходит обычные.

383. Я применил следующий прибор для постановки этих опытов. Прежде всего я позаботился, чтобы были приготовлены 4 прута из умеренно твердого железа, длиной приблизительно в 2 фута, шириной в $1^1/_2$ дюйма, а толщиной в 1 дюйм. Затем я распорядился приготовить 12 стальных прутьев меньшей величины, имеющих в длину 6 дюймов, в ширину 4 линии, а в толщину $^1/_2$ линии. Из них первые

две пары состояли из мягкой стали, остальные четыре — из стали такой твердости, которую имеют стальные пружины, и, наконец, последние четыре — из стали, закаленной до степени наивысшей хрупкости. Когда все это было приготовлено, я приступил к делу следующим образом.

384. Из бо́льших железных прутьев, о которых я упомянул в начале предыдущего параграфа, я один поставил вертикально и затем, с помощью большого молотка, я примерно 200 раз привел его в сотрясение сильными ударами. Таким образом, он получил значительную магнитную силу, так что он мог без труда поднимать небольшой железный гвоздь, при этом нижний конец прута стал южным полюсом, а обращенный вверх — северным. Остальные 3 прута я подверг такой же обработке и также наделил их магнитной силой.



Фиг. CXIII.

385. Проделав это, я положил на деревянную доску прут AB (фиг. CXIII), один из меньших прутьев, состоящих из мягкого железа, поместив его надлежащим образом между двумя бо́льшими прутьями ED и CF; затем я стал натирать его другой парой бо́льших прутьев по исправленному способу двойного прикосновения, подробное описание которого дано выше, и таким образом наделял его магнитной силой; ту же процедуру я проделал и с остальными тремя меньшими прутьями из более мягкой стали. Затем, после того как таким образом все эти 4 прута приобрели некоторую магнитную силу, я увеличил их силу до степени насыщения способом, изложенным в предыдущей главе.

386. Продолжая эту работу дальше, я приступил к намагничиванию четырех меньших прутьев, имеющих упругую твердость. Для этой цели я поместил каждую пару их между

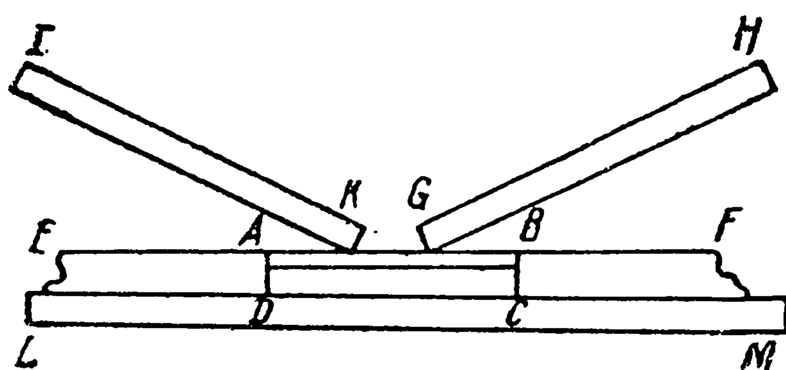
двумя параллелепипедами из мягкого железа способом, описанным в предыдущей главе, а 4 прута из мягкого железа, которые были уже намагничены ранее, я распределил на две связки, и с их помощью я натер прутья, помещенные между двумя параллелепипедами из мягкого железа, по исправленному способу двойного прикосновения; таким же образом я проделал эту процедуру и над другой парой этих прутьев. Затем, отложив в сторону 4 прута из мягкого железа, я обычным способом увеличил до степени насыщения магнетизм прутьев, имеющих твердость упругой стали.

387. Чтобы закончить, наконец, всю операцию, я повторил всю процедуру, описанную в предыдущем параграфе, еще раз, применяя, однако, вместо прутьев из мягкого железа те, которые имели упругую твердость, а вместо них те, которые обладали высшей степенью твердости и хрупкости. Таким путем я в конце концов получил 4 прута, весьма магнитные соответственно своей массе, а при помощи их я получил уже возможность передавать магнетизм все бо́льшим и бо́льшим прутьям, и так до бесконечности. Весь этот способ не связан ни с какими трудностями; поэтому нет нужды объяснять причины этих явлений с точки зрения теории: все вполне ясно само по себе.

388. Перейдем теперь к описанию второго способа. Для применения его я воспользовался тем же самым прибором, что и для предшествующего случая, с той только разницей, что железные прутья большего размера, о которых было сказано в § 381, были приготовлены из самого мягкого железа. Самая процедура проделывается таким образом. На деревянной доске *LM*, наклоненной к горизонту соответственно положению магнитной стрелки наклонения, я помещаю 2 прута из числа железных прутьев большего размера так, чтобы они составляли продолжение один другого, а между ними я помещаю одни из меньших прутьев, состоящих из мягкой стали, соблюдая правило, чтобы 3 прута *EF*, *AB* и *CD* (фиг. CXIV) лежали на той прямой, по которой стрелка

наклонения располагается сама по себе. Затем, при помощи второй пары железных прутьев, которые я держу в таком положении, что они образуют с прутом *AB* угол, или равный нулю, или очень острый, я намагничиваю прут *AB*, применяя способ двойного прикосновения, и затем совершенно таким же способом наделю и 3 остальные прута из мягкой стали магнитной силой. Покончив с этим, я проделываю всю процедуру, описанную в §§ 383 (в конце), 384 и 385, и таким образом достигаю желанной цели.

389. В этом способе есть подробности, которые требуют некоторого освещения с точки зрения нашей теории. Из сказанного выше ясно, что прутья *DE* и *CF* так помещены, чтобы они под действием земного ядра сразу же стали настоящими магнитами, причем получается так, что конец *D* верхнего прута становится северным полюсом, а конец *C* нижнего прута — южным полюсом. Следовательно, происходит как раз так, как если бы прут *AB* был помещен между двумя магнитами, стремящимися передать ему такое состояние, чтобы конец *B* получил северный магнетизм, а конец A — южный. Наконец, что касается прутьев *KI* и *GH*, то и с ними дело обстоит таким же образом, ибо и они сразу же превращаются в магниты, достаточно сильные, если учесть условия опыта, причем конец *K* становится северным полюсом одного прута, а конец *G* — южным полюсом другого прута. Поэтому нетрудно понять причину, в силу которой этот способ дает лучший результат, чем обычные, так как все прочее не представляет никаких трудностей.



Фиг. CXIV.

390. Может показаться, что оба изложенных выше способа содержат ни к чему не нужные осложнения, так как не сразу понятна причина, по которой я применяю весьма

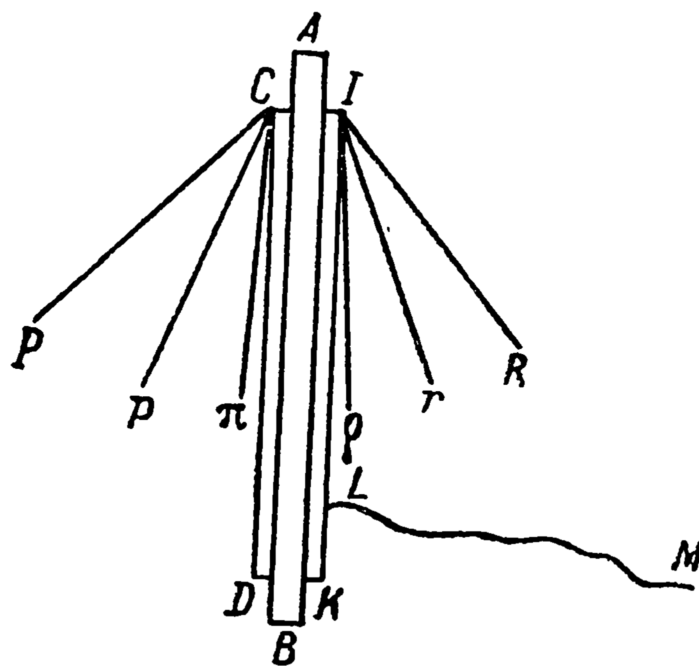
малые и тонкие прутья; не сразу понятно, почему я начинаю намагничивание с мягких прутьев и как бы по ступеням восхожу сперва к умеренно твердым прутьям и, наконец, к высшей степени твердости. Можно было бы подумать, что дело окончилось бы с таким же успехом и в том случае, если бы процедуры, при которых магнетизм сперва передается очень мягким прутьям, сразу же проделывались с прутьями большего размера и более твердыми. Однако кто захочет обратиться к помощи опыта, заметит, что наше дело либо вовсе не имело бы успеха, либо удалось бы только с большими препятствиями, если бы я не прибегал к осложнениям, описанным мною выше. Такой же вывод можно без труда сделать и из теории: поскольку сопротивление, которое встречает магнитная жидкость при прохождении через поры твердой стали, есть конечная величина и имеет определенное численное значение, то ясно, что даже в том случае, когда имеются четыре твердых стальных прута, наделенных магнетизмом, может оказаться, что сила их настолько не велика, что даже при помощи способа двойного прикосновения они не могут перегнать магнитную жидкость из одного конца в другой и преодолеть то сопротивление, которое встречает ее продвижение. Поэтому ясно, что магнитная сила прутьев может быть увеличена до степени насыщения только в том случае, если их первоначальная или исконная сила уже сразу, с самого начала превосходит некоторую данную степень, определяемую опытом. Но опыт, заставивший нас применять указанные выше способы, показал нам, что прутья сравнительно большие и твердые получают степень магнитной силы хотя и ощутительную, но недостаточную.

Прежде чем закончить это сочинение, я считаю уместным еще раз указать на следующее. Теперь уже совершенно ясно (о чем я утверждал и выше), что нельзя говорить о создавании магнетизма в истинном и собственном смысле слова, но все те способы, с помощью которых тела, подоб-

ные железу, становятся магнитными, сводятся только к передаче магнетизма, а следовательно, если до этого не было никакого тела, наделенного магнитной силой, то создать эту силу, повидимому, мы не можем. Действительно, если рассмотреть должным образом все известные до сих пор способы, при помощи которых тела, сходные с железом, наделяются магнитной силой, которой они прежде не имели, то можно будет без труда увидеть, что эти способы распадаются на три следующих класса. Либо мы явным образом получаем эту силу от другого магнита, как, напр., в том случае, когда мы проводим железом по магниту или держим тело поблизости от магнита, либо нам представляется, что железо само по себе приобретает магнетизм; это бывает в тех случаях, когда мы, или придавая ему надлежащее положение, или накаливая, или сотрясая его, делаем его магнитным. Либо, наконец, эта сила рождается при трении друг о друга двух немагнитных тел, содержащих железо. Что касается явлений первого класса, то здесь не может возникнуть никакого вопроса; что же касается тех, которые относятся к двум последним классам, то я с очевидностью показал, что эти явления обязаны своим существованием исключительно действию магнита, занимающего ядро земного шара; поэтому не может быть никакого сомнения, что и эти случаи являются образцами передачи магнетизма, а не его создания.

[I ДИССЕРТАЦИЯ] ОБЪЯСНЕНИЕ ОДНОГО ЯВЛЕНИЯ В ЛЕЙДЕНСКОЙ БАНКЕ, ОТКРЫТОГО ЗНАМЕНИТЕЙШИМ РИХМАНОМ

1. Знаменитейший Рихман впервые открыл одно явление в Лейденской банке, которое, как кажется на первый взгляд, относится к числу наиболее трудных для объяснения. Речь идет о следующем опыте. Привесим к каждому из листов *CD* и *IK* (фиг. CXV), которыми обложены обе стороны Лейденской банки, по льняной нитке, $C\pi$ и $I\rho$, имеющей в длину 5 или 6 дюймов, и пусть они свободно болтаются близ каждого из листов. Когда лист *CD* будет наэлектризован обычным способом и банка будет таким путем наполнена электричеством, можно будет заметить, что нить $C\pi$, привязанная к листу *CD*, поднимается и вследствие отталкивания от листа принимает положение *CP*; другая же нить $I\rho$ останется висеть около другого листа *IK* почти неподвижно в вертикальном положении. Теперь уберем провод *LM*, и тогда нить $C\pi$ сразу же быстро опустится из положения *CP* в положение *Cp*, примерно на половину своего



Фиг. CXV.

прежнего подъема, а другая нить $I\rho$ в то же время поднимется примерно на такое же расстояние и примет положение Ir. Если затем банка будет предоставлена самой себе, то обе нити (хотя очень медленно, так что перемещение станет заметным только спустя сравнительно долгое время) опустятся одновременно и на одинаковое расстояние; в конце концов, по истечении достаточно долгого времени, обе нити вернутся в вертикальное положение $C\pi$ и $I\rho$. Если же, после того как нити примут положение Cp и Ir, человек, стоящий не на подставке из смолы или стекла, а на каком-либо теле, неэлектрическом по своей природе, дотронется до банки пальцем, то с той стороны, к которой он прикоснется, выскочит искра; эта искра будет слабой, почти такой же по своей силе, какими бывают искры, исходящие от тел, наэлектризованных без применения банки. При этом нить, привешенная к той стороне банки, к которой человек прикоснулся, опустится совершенно, а та, которая привешена к другой стороне, быстро поднимется и примет положение CP (или IR). Последний опыт можно повторять сколько угодно раз без ощутимого уменьшения количества электричества; его можно повторять даже сто или двести раз до тех пор, пока электричество не уничтожится совершенно.[103]

2. Этот изящный опыт столь поразительно согласуется с первоосновами, изложенными мною в главе I моей книги „Опыт теории электричества и магнетизма“, что я мог бы предсказать его результат только на основании теории, если бы результат опыта не был бы мне уже до этого известен. Итак, поскольку степень вероятности изложенной мною теории значительно увеличится, если окажется, что она вполне согласуется даже с очень сложными явлениями, мне кажется, что этот опыт Рихмана заслуживает того, чтобы его причины были тщательно исследованы. Прежде всего очевидно, что в том случае, если бы воздух, окружающий банку, был совершенно электрическим по своей природе, явления, о которых я говорил в предыдущем па-

раграфе, не могли бы иметь места. Даже если убрать провод *LM*, то при предположении, что воздух является в наивысшей степени электрическим по своей природе, банка должна была бы оставаться в том же состоянии, в котором она находилась, когда провод *LM* был еще присоединен к листу *IK*. Действительно, так как в том случае, который мы вообразили, воздух не мог бы позволить хотя бы незначительному количеству электрической жидкости ни удалиться из листа *CD*, ни проникнуть в лист *IK*, то количество электрической жидкости в обоих листах должно было бы оставаться совершенно тем же, каким оно было в то мгновение, когда мы убирали провод *LM*; отсюда ясно, что состояние банки тогда никак не могло измениться. Итак, причину явлений, сопровождающих опыт Рихмана, надо искать не в чем ином, как в том, что воздух является электрическим по своей природе лишь в несовершенной степени и хотя и с трудом, но принимает жидкость в свои поры, а также и выпускает ее из своих пор, так что он не оказывает непреодолимого сопротивления ее продвижению. То, что воздух, как я здесь предполагаю, является электрическим по своей природе лишь в несовершенной степени, видно хотя бы из того, что в теле, которое окружено со всех сторон воздухом, электричество не остается в течение бесконечного времени, но обычно в довольно короткое время совершенно уничтожается.

3. Итак, поскольку воздух постоянно принимает в себя некоторое количество электрической жидкости с листа *CD*, допустим, что в данное время лист *CD* потерял, считая с того времени, как он был наэлектризован, количество жидкости, равное ε. Тогда α становится равным $\alpha - \varepsilon$, а та сила, с которой лист *CD* отталкивает жидкость, равная, как мы видели (§ 15 „Опыта теории электричества и магнетизма“), $\frac{\alpha r - \beta r'}{Q}$, становится равной $\frac{\alpha r - \beta r'}{Q} - \frac{\varepsilon r}{Q}$ или, так как $\beta = \frac{\alpha r'}{r}$, равной $\frac{\alpha [r^2 - (r')^2]}{Qr} - \frac{\varepsilon r}{Q}$. Вследствие этого и сила, с которой

лист IK притягивает жидкость, равная $\frac{\beta r - \alpha r'}{Q}$, претерпевает некоторое изменение. Она становится равной $\frac{\beta r - \alpha r'}{Q} + \frac{\varepsilon r'}{Q}$ или, поскольку $\beta = \frac{\alpha r'}{r}$, равной $\frac{\varepsilon r'}{Q}$. Итак сила листа IK, после того как лист CD вытолкнул количество ε, уже не равна нулю, какой она была вначале, но сразу же этот лист начинает снова притягивать жидкость. Значит, в то время, как из листа CD выгоняется количество ε, лист IK притягивает некоторое количество жидкости; обозначим это количество буквой γ. Если мы теперь предположим, что в то время, как α становится равным $\alpha - \varepsilon$, β становится равным $\beta - \gamma$, то сила листа CD окажется равной $\frac{\alpha [r^2 - (r')^2]}{Qr} + \frac{\gamma r' - \varepsilon r}{Q}$, а сила листа IK равна $\frac{\varepsilon r' - \gamma r}{Qr}$.

4. Все дело теперь в том, чтобы определить отношение между ε и γ. Пока провод LM остается соединенным с листом IK, исследовать это отношение очень легко. Поскольку в этом случае жидкость может беспрепятственно проникать в лист IK, быстро и в кратчайшее время ее утечет столько, что сила притяжения листа IK опять станет равной нулю. Итак, сразу же станет $\frac{\varepsilon r' - \gamma r}{Q} = 0$ (§ 3), откуда получим $\gamma = \frac{\varepsilon r'}{r}$; если подставить это значение в формулу, выражающую силу листа CD, то она получит вид $\frac{(\alpha - \varepsilon)[r^2 - (r')^2]}{Qr}$. Значит, если провод LM останется соединенным с листом IK, то сила этого листа будет постоянно оставаться равной нулю, а сила другого листа CD будет медленно возрастать; поэтому нить $I\rho$ совершенно не изменит своего положения, а нить $C\pi$ начнет медленно подниматься, выйдя из положения CP.

5. Если же предположим, что провод LM убран, то получить отношение между величинами ε и γ несколько труднее. Действительно, ясно, что сила листа IK в этом случае не может сразу же стать равной нулю, так как воздух препят-

ствует свободному проникновению жидкости в лист IK. Однако же это отношение можно определить следующим образом. Так как результаты действия различных причин за равное время и при одинаковых условиях относятся как силы, которые произвели эти результаты, то ясно, что приращения, которые получают ε и γ за один и тот же мельчайший отрезок времени dt, должны быть пропорциональны силам

$$\frac{\alpha[r^2-(r')^2]}{Qr}+\frac{\gamma r'-\varepsilon r}{Q} \quad \text{и} \quad \frac{\varepsilon r'-\gamma r}{Q}.$$

Итак, получим

$$d\varepsilon=\frac{dt}{Qr}\{\alpha[r^2-(r')^2]+\gamma r' r-\varepsilon r^2\}$$

и

$$d\gamma=\frac{dt}{Q}(\varepsilon r'-\gamma r);$$

исключая dt, получим

$$\frac{rd\varepsilon}{\alpha[r^2-(r')r^2]+\gamma r' r-\varepsilon r^2}=\frac{d\gamma}{\varepsilon r'-\gamma r}$$

или

$$\alpha[r^2-(r')^2]d\gamma+rr'\gamma d\gamma-r^2\varepsilon d\gamma-rr'\varepsilon d\varepsilon+r^2\gamma d\varepsilon=0.$$

Помножим это уравнение на

$$\frac{2}{(r-r')\left[\frac{\alpha(r-r')}{r}+\gamma-\varepsilon\right]\left[\frac{\alpha(r+r')}{r}-\gamma-\varepsilon\right]}$$

и получим

$$\frac{d\gamma-d\varepsilon}{\frac{\alpha(r-r')}{r}+\gamma-\varepsilon}+\frac{r+r'}{r-1}\cdot\frac{d\varepsilon+d\gamma}{\frac{\alpha(r+r')}{r}-\gamma-\varepsilon}=0,$$

откуда, интегрируя, получаем

$$\lg\left[\frac{\alpha(r-r')}{r}+\gamma-\varepsilon\right]-\frac{r+r'}{r-1}\lg\left[\frac{\alpha(r+r')}{r}-\gamma-\varepsilon\right]=\lg\cdot\text{const}.$$

или, переходя к числам,

$$\frac{\frac{\alpha(r-r')}{r}+\gamma-\varepsilon}{\left[\frac{\alpha(r+r')}{r}-\gamma-\varepsilon\right]^{\frac{r+r'}{r-r'}}}=\text{const.}$$

Эту постоянную можно определить, исходя из того, что и ε и γ одновременно равны нулю в начале опыта, поэтому в конце концов выводится такое уравнение, выражающее отношение между ε и γ:

$$\frac{\frac{\alpha(r-r')}{r}+\gamma-\varepsilon}{\left[\frac{\alpha(r+r')}{r}-\gamma-\varepsilon\right]^{\frac{r+r'}{r-r'}}}=\frac{\frac{\alpha(r-r')}{r}}{\left[\frac{\alpha(r+r')}{r}\right]^{\frac{r+r'}{r-r'}}}.$$

6. Прежде, чем мы перейдем непосредственно к объяснению явлений в опыте Рихмана, будет целесообразно предпослать несколько общих замечаний. В самом начале опыта, когда сила листа IK равна нулю, а сила отталкивания листа CD равна $\frac{\alpha[r^2-(r')^2]}{Qr}$ (§ 3), ясно само по себе, что сила листа IK меньше, чем сила другого листа CD. Я утверждаю, что в течение всего опыта дело обстоит таким же образом и что сила листа IK никогда не может стать большей, чем сила листа CD. Действительно, так как вначале сила листа IK, которую назовем v, меньше, чем сила листа CD, которую обозначим через V, то первая может обогнать вторую и стать больше ее только в том случае, если в какой-то момент они будут равными друг другу. Но если принять $V=v$, то получим $\frac{\alpha[r^2-(r')^2]}{Qr}+\frac{\gamma r-\varepsilon r}{Q}=\frac{\varepsilon r'-\gamma\rho}{Q}$; это уравнение дает $\alpha[r^2-(r')^2]+(\gamma-\varepsilon)r(r+r')=0$, или $\alpha(r-r')+(\gamma-\varepsilon)r=0$, откуда получим $\varepsilon=\frac{\alpha(r-r')}{r}+\gamma$. Если подставим это

значение в уравнение, выведенное в предыдущем параграфе:

$$\frac{\frac{\alpha(r-r')}{r}+\gamma-\varepsilon}{\left[\frac{\alpha(r+r')}{r}-\gamma-\varepsilon\right]^{\frac{r+r'}{r-r'}}}=\text{const.},$$

то получим

$$\frac{0}{\left[\frac{2\alpha r'}{r}-2\gamma\right]^{\frac{r+r'}{r-r'}}}=\text{const.}$$

Но это уравнение может иметь место только в том случае, если знаменатель дроби равен нулю, вследствие чего получим $\gamma=\frac{\alpha r'}{r}$. Итак, сила листа *IK* все время остается меньше силы листа *CD*, пока не станет $\varepsilon=\alpha$, а $\gamma=\frac{\alpha r'}{r}$, т. е. пока банка не вернется на обеих сторонах в естественное состояние. Действительно, так как вначале избыток количества жидкости в *CD* был равен α, а недостаток количества жидкости в *IK* был равен $\frac{\alpha r'}{r}$, то очевидно, что, после того как стало $\varepsilon=\alpha$ и $\gamma=\frac{\alpha r'}{r}$, т. е. после того как стало $V=v$, электричество на обоих листах совершенно исчезло.

7. Итак, поскольку V всегда больше, чем v, $d\varepsilon$ также всегда больше, чем $d\gamma$. Ведь эти дифференциалы пропорциональны силам V и v (§ 5). Но так как далее $dV=\frac{r'\,d\gamma-r\,d\varepsilon}{Q}$ (§ 3), то вследствие того, что $d\gamma<d\varepsilon$, равно как и $r'<r$, dV всегда будет отрицательным, вследствие чего сила листа *CD* с начала опыта до его конца должна непрерывно уменьшаться. Иначе обстоит дело с листом *IK*. Для него мы имеем $dv=\frac{r'\,d\varepsilon-r\,d\gamma}{Q}$; хотя постоянно $d\varepsilon>d\gamma$, тем не менее, эта величина, поскольку $r'<r$, будет то положительной, то отрицательной, а также может быть равной и нулю. Если же

dv будет равен нулю, то v будет maximum. Итак, теперь очевидно, что сила листа IK будет возрастать от нуля до какого-то определенного максимального значения, а от этого значения снова уменьшаться до нуля. Для определения максимума примем $dv = \frac{r'\,d\varepsilon - r\,d\gamma}{Q} = 0$, и, подставив значения величин $d\varepsilon$ и $d\gamma$, найденные в § 5, после необходимых приведений получим $\alpha r'[r^2 - (r')^2] + \gamma r[r^2 + (r')^2] - 2\varepsilon r^2 r' = 0$, откуда для случая, когда γ максимальное, получается

$$\gamma = \frac{2\varepsilon r^2 r' - \alpha r'[r^2 - (r')^2]}{r[r^2 + (r')^2]}$$

и

$$\varepsilon = \frac{\gamma r[r^2 + (r')^2] + \alpha r'[r^2 - (r')^2]}{2r^2 r'}.$$

8. Если только что найденное значение γ, соответствующее максимуму, подставим в выведенное в § 5 уравнение, выражающее зависимость между γ и ε, то она даст, после соответствующих приведений

$$\frac{\alpha (r - r')^{\frac{r-r'}{2r'}} [r^2 + (r')^2]}{r(r + r')^{\frac{r+r'}{2r'}}} = \alpha - \varepsilon.$$

Но без труда можно понять, что в том случае, когда r мало отличается от r', как обычно бывает в Лейденской банке, это значение величины $\alpha - \varepsilon$ очень близко к равенству с α. Действительно, если мы выразим r и r' такими величинами, чтобы разница между ними равнялась единице, что всегда в нашей власти, какое бы ни было принято отношение между r и r', то будет $r - r' = 1$, а $r' = r - 1$. Если мы подставим эти значения в уравнение, получим

$$\frac{\alpha (2r^2 + 2r + 1)}{r(2r - 1)^{\frac{2r-1}{2r-2}}} = \alpha - \varepsilon.$$

Но так как предполагается, что r и r' незначительно отличаются друг от друга, то единица будет по сравнению

с количеством r очень малой величиной. Итак, ясно, что в этом случае $2r^2+2r+1$ будет мало отличаться от $2r^2$, $2r-1$ от $2r$, а $\frac{2r-1}{2r-2}$ от 1. Итак вся величина $\frac{\alpha(2r^2+2r+1)}{r(2r-1)^{\frac{2r-1}{2r-2}}}$ будет приближенно равна $\frac{\alpha(2r^2)}{r(2r)}$, т. е. она будет приблизительно равна α, откуда следует, что ε будет всегда очень малой величиной по сравнению с α.

9. Если же это значение γ, при котором сила листа IK достигает максимума, подставить в общую формулу, выражающую эту силу (§ 3), то окажется, что максимальное значение этой силы равно $\frac{(\alpha-\varepsilon)r'[r^2-(r')^2]}{Q[r^2+(r')^2]}$, а сила, которой обладает лист CD, когда сила IK достигает максимума, будет $\frac{(\alpha-\varepsilon)r[r^2-(r')^2]}{Q[r^2+(r')^2]}$.

Каждая из этих сил, в виду того, что ε очень малое, а r почти равно r', мало отличается от $\frac{\alpha[r^2-(r')^2]}{2Qr}$. Итак, поскольку сила, которой лист CD обладал первоначально, равна $\frac{\alpha[r^2-(r')^2]}{Qr}$, каждая из указанных сил будет относиться к этой первоначальной силе приблизительно почти так, как $1:2$.

10. Теперь без труда можно понять, что уже через короткое время сила листа IK достигнет максимума. Действительно, чтобы привести банку в это состояние максимума, требуется только, чтобы была удалена очень малая частица жидкости из листа CD, а это может произойти быстро (§ 8). Но так как при этом сила каждого из листов, как я доказал в предыдущем параграфе, испытывает очень значительное изменение, то теперь ясна причина, почему нить $C\pi$ должна быстро опуститься, а нить $I\rho$ подняться с значительной быстротой. Быстрое изменение сил, о котором я здесь говорю, заслуживает, чтобы ему было уделено еще некоторое внимание. Уже выше я указал, что сила листа CD уменьшается приблизительно вдвое, когда банка приводится в состояние

максимума. Это происходит, если убрать провод LM; если же представим себе, что он остается соединенным с листом IK, то легко сообразить, что в этом случае, даже если лист CD вытолкнет то же количество жидкости ε, в результате этого не получится столь значительного уменьшения силы V, но оно будет лишь весьма малым. Действительно, в этом случае сила листа CD получает вид $\frac{(\alpha-\varepsilon)[r^2-(r')^2]}{Qr}$ (§ 4), а следовательно, все уменьшение, которому она подвергается, равно $\frac{\varepsilon[r^2-(r')^2]}{Qr}$; так как ε очень мало (§ 8), то это количество по сравнению с первоначальной силой $\frac{\alpha[r^2-(r')^2]}{Qr}$ почти исчезает.

11. Из сказанного достаточно ясна причина того, что происходит в опыте Рихмана в то время, как банка приводится в состояние максимума, причем то, что происходит при этом, очевидно соответствует теории. Итак, остается более тщательно исследовать и другие происходящие при этом явления. Из сказанного выше достаточно ясно вытекает следующее: каждая из этих двух сил начинает уменьшаться, и обе нити начинают опускаться после того, как банка пришла в состояние максимума. Однако замечательно в этом случае другое: в то время как поднятие и опускание нитей $I\rho$ и $C\pi$ было очень быстрым, до того, как банка была приведена в состояние максимума, теперь, после того как она пришла в это состояние, движение обеих нитей значительно замедляется и становится столь медленным, что какое-либо опускание нитей можно наблюдать только через довольно значительное время.

12. Чтобы пролить полный свет на это дело, необходимо будет предпослать несколько замечаний, благодаря которым будет подготовлен путь к разрешению этих вопросов. Читатели вспомнят, в силу сказанного в § 15 „Опыта теории электричества и магнетизма“, что если избыток количества электрической жидкости в листе CD назвать α, а недостаток

ее в IK назвать β, то сила отталкивания листа CD будет равна $V = \frac{\alpha r - \beta r'}{Q}$, а листа IK будет равна $v = \frac{\beta r - \alpha r'}{Q}$. Примем, что количество α уменьшилось на количество ζ, а β — на количество $\zeta + \mu$; тогда уменьшение силы листа CD будет равно $\frac{\zeta (r - r' - \mu r')}{Q}$, а листа IK будет равно $\frac{\zeta (r - r') + \mu r}{Q}$. Итак, если:

1) $\mu = 0$, т. е. если α и β уменьшаются на одинаковые количества, то и уменьшение количеств V и v будут равны между собой и будут равны $\frac{\zeta (r - r')}{Q}$; отсюда следует, что в том случае, если принимается, что силы V и v вначале были равными между собой, то их равенство сохранится и после изменения количеств α и β;

2) μ не равно нулю, но будет столь малым, что может приниматься за исчезающую величину, то уменьшения сил V и v будут, по крайней мере приближенно, равны между собой. Итак, если в этом случае силы V и v вначале были или совсем равными или приближенно равными, то они будут и уменьшаться на почти равные величины, т. е. и останутся приближенно равными;

3) μ по сравнению с ζ имеет значительную величину, т. е. если уменьшения их α и β значительно отличаются друг от друга, то и уменьшения сил V и v весьма значительно отличаются друг от друга. Разница между этими уменьшениями равна $\frac{\mu (r - r')}{Q}$, а эта величина тем больше, чем больше μ;

4) далее, если $\mu = 0$, то уменьшение, которому подвергаются обе силы, весьма незначительно и будет много меньше того уменьшения, которое наблюдалось бы, если бы μ не исчезало, а имело значительную величину. Действительно, в первом случае это уменьшение сил равно $\frac{\zeta (r - r')}{Q}$, а это количество ввиду малой разницы между r и r' очень мало. Наоборот, если μ имеет по сравнению с ζ значительную ве-

личину, то эти уменьшения приблизительно равны $\frac{-\mu r'}{Q}$ и $\frac{+\mu r}{Q}$, а поскольку эти количества значительно больше, чем $\frac{\zeta(r-r')}{Q}$, обе силы должны подвергнуться значительному изменению, которое будет тем более значительным, чем больше μ. Если же μ не совершенно, а лишь приближенно станет равным нулю, то изменение, которому подвергнется каждая из двух сил, будет незначительным, ибо в этом случае оно будет мало отличаться от $\frac{\zeta(r-r')}{Q}$.

13. Если эти общие положения применить к случаю, который мы взялись здесь объяснить, то ясно, что в начале опыта, когда силы V и v совсем не равны друг другу, должны значительно отличаться друг от друга и их уменьшения α и β, пропорциональные этим силам (§ 5). Но после того как сила листа IK стала максимальной, ясно, что и силы V и v стали приближенно равными (§ 9). Итак, уменьшения количеств α и β также будут приближенно равны друг другу, а силы V и v, начиная с того момента, когда банка приобрела состояние максимума и до конца опыта и полного уничтожения электричества в обоих листах, будут все время оставаться приближенно равными друг другу.

14. Можно также без труда понять, почему силы V и v быстро изменяются в начале опыта, но лишь чрезвычайно медленно после того, как банка получила состояние максимума. Ясно, что причина этого явления двоякая (уменьшение величины α, т. е. значение величины ϵ, соответствующее максимальной силе листа IK, обозначим через ζ).

1) Вначале это количество ζ выгоняется из листа CD в гораздо более короткое — примерно вдвое более короткое — время, чем это может произойти после того, как банке передано состояние максимума. Действительно, отталкивающая сила листа CD вначале приближенно в два раза больше, чем та сила, которой обладает лист IK, после того как эта сила достигает своего максимума (§ 9).

2) Представим себе, что даже после того, как банка приведена в состояние максимума, из листа CD за такое же время, как раньше, выгоняется, тем не менее, то же количество жидкости, равное ζ; и в этом случае изменение сил V и v, происходящее за то время, в которое выгоняется количество ζ, будет все же много меньше, чем вначале, до того как банка получила состояние максимума. Действительно, поскольку силы V и v после того, как сила листа IK принимает наибольшее значение, становятся приближенно равными (§ 9) и остаются такими до конца опыта, и уменьшения их α и β окажутся приближенно равными. Но мы доказали в предыдущем параграфе, пункт 4, что силы V и v изменяются очень мало, если уменьшения количеств α и β приближенно равны между собой, и что получающееся при этом изменение сил будет значительно меньшим, чем оно могло бы быть, если бы приращения количеств α и β были очень неравными; это имеет место до тех пор, пока банка не приобретет состояния максимума.

15. Чтобы все это стало яснее, применим общие предложения, изложенные выше, к двум частным случаям. Итак, примем что $r:r'=100:99$, а α примем за единицу. Итак, в начале опыта сила листа CD будет равна $\frac{1.99}{Q}$ (§ 3). Если мы представим себе, что банка достигла состояния максимума, то соответствующее максимуму ε, т. е. количество жидкости, выгнанной из листа CD, будет равно 0.03123 (§ 8), а $\gamma=0.02128$ (§ 7). Поэтому в этом случае сила листа CD равна $\frac{0.97362}{Q}$, а сила листа IK равна $\frac{0.96388}{Q}$; каждое из этих значений мало отличается от $\frac{0.995}{Q}$, т. е. от половины первоначальной силы листа CD. Если же провод LM остался бы соединенным с листом IK, то после того, как лист CD выгонит количество $\varepsilon=0.03123$, сила листа CD стала бы равна $\frac{1.9278}{Q}$, откуда ясно, что, если не убрать провод, сила листа CD подвергнется лишь незначительному уменьшению.

16. Если предположим, что после того, как банка приведена в состояние максимума, лист CD снова выгоняет количество $\varepsilon = 0.03123$, так что все количество жидкости, выгнанной, считая от начала, равно 0.06246, то γ, соответствующее этому ε, т. е. количество жидкости, проникающей, считая от начала, в лист, равно 0.05246 (это значение легко получить из уравнения, выведенного в § 5, применяя правило ложного предположения или другие обычные способы приближения). В этом случае сила листа CD равна $\frac{0.93754}{Q}$, а сила листа IK равна $\frac{0.93734}{Q}$. Если мы теперь сравним силы, которые последовательно получает каждый лист, то получим следующие значения:

Сила листа CD		Разница	Сила листа IK	Разница
Первоначальная	$\frac{1.99}{Q}$		0	
		$\frac{1.01638}{Q}$		$\frac{0.96388}{Q}$
После того как банка достигла состояния максимума	$\frac{0.97362}{Q}$		$\frac{0.96388}{Q}$	
		$\frac{0.03608}{Q}$		$\frac{0.02684}{Q}$
После того как из листа CD снова выгнано количество $\varepsilon = 0.03123$	$\frac{0.93754}{Q}$		$\frac{0.93754}{Q}$	

17. Выше мы приняли (как это обычно бывает в Лейденской банке), что r мало отличается от r'. Для того чтобы читатели могли также видеть, как изменяется явление опыта Рихмана, если количества r и r' довольно далеки от равенства между собой, подвергнем нашему рассмотрению еще один случай. Пусть $r : r' = 5 : 4$, тогда первоначальная сила

листа $CD = \frac{1.8}{Q}$; ε, соответствующее максимуму, равно 0.30770, а $\gamma = 0.12458$; следовательно, сила листа CD, в то время когда банка находится в состоянии максимума, равна $\frac{0.75982}{Q}$, а сила листа IK равна $\frac{0.60790}{Q}$. Если, наконец, из листа CD, после того как банка достигла состояния максимума, снова будет выгнано количество $\varepsilon = 0.30770$, то количество жидкости, выгнанное из листа CD, считая с начала опыта, будет в два раза больше ε и будет равно 0.61540, а соответствующее ей $\gamma = 0.48738$, откуда получаем, что сила листа CD равна $\frac{0.67252}{Q}$, а сила листа IK равна $\frac{0.02470}{Q}$. Итак, получим следующие значения:

Сила листа CD		Разница	Сила листа IK	Разница
Первоначальная	$\frac{1.8}{Q}$		0	
		$\frac{1.04018}{Q}$		$\frac{0.60790}{Q}$
После того как банка достигла состояния максимума	$\frac{0.75982}{Q}$		$\frac{0.60790}{Q}$	
		$\frac{0.08730}{Q}$		$\frac{0.58320}{Q}$
После того как из листа CD снова выгнано количество $\varepsilon = 0.30770$	$\frac{0.67252}{Q}$		$\frac{0.02470}{Q}$	

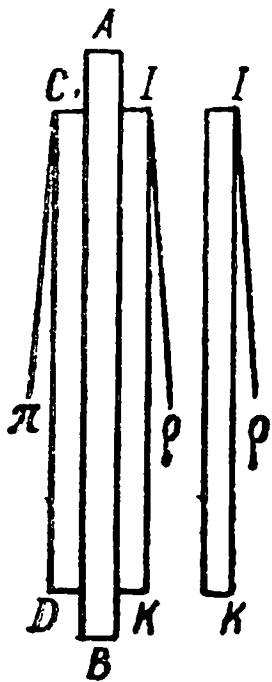
18. Если бросить взгляд на таблицы §§ 16 и 17, то видно, что главная разница между явлениями первого и второго случая, имеющая своей причиной значительную разницу между количествами r и r', при r значительно большем, чем r', состоит в том:

1) что прежде, чем банка может быть доведена до состояния максимума, необходимо, чтобы из листа *CD* было выгнано большее количество жидкости, чем в первом случае;

2) что силы листов *CD* и *IK*, соответствующие состоянию максимума, значительно меньше половины первоначальной силы листа *CD*;

3) что эти, указанные выше, силы друг от друга отличаются на большую величину, а именно, сила листа *IK* значительно меньше, чем сила листа *CD*;

4) что и в этом случае сила листа *CD* вначале быстро изменяется, а после того как банка достигла состояния максимума, медленно уменьшается; что же касается силы листа *IK*, то в этом случае разница между скоростями, с которыми она изменяется, не так значительна, как обычно бывает, когда отношение между r и r' приближается к равенству.



Фиг. CXVI.

19. Все это легко понять и без применения численных примеров, из общей теории, изложенной выше. Правильность этих положений может быть также удачно подтверждена на опыте следующим способом. Одна из сторон стеклянной пластины *AB* (фиг. CXVI) обкладывается металлическим листом *CD*, однако так, чтобы по окружности оставался край, имеющий в ширину приблизительно $1^1/_2$ дюйма, не обложенный металлом. Далее изготовим деревянную доску *IK*, несколько меньшую, чем стеклянная пластинка *AB*, и обложим ее металлическими листами; к листу *CD* привесим нить $C\pi$, а к доске *IK* — нить $I\rho$. Если после этого доску *IK* сперва приложить непосредственно к стеклянной пластинке *AB* и проделать опыт Рихмана, а затем, отодвинув доску *IK* от стеклянной пластины *AB* на полдюйма или на целый дюйм, повторить тот же опыт, то можно будет заметить, что все произойдет так, как должно произойти согласно моему доказательству, данному в предыдущем параграфе.

20. Я обязан дать еще читателям объяснение последнего опыта, о котором я упомянул в § 1. А именно, необходимо показать, почему в том случае, когда прикасаются пальцем к одному из листов, либо *CD*, либо *IK*, после того как банка достигла состояния максимума, сразу же опускается нить, привешенная к листу, к которому прикасаются пальцем, а нить, привешенная к другому листу, быстро поднимается; точно так же необходимо исследовать, почему в обычной Лейденской банке этот опыт можно повторять много раз без того, чтобы находящееся в банке электричество подверглось значительному уменьшению. Для этой цели примем, что в листе *CD* банки избыток количества электрической жидкости равен α, а в листе *IK* недостаток его равен β. Тогда сила отталкивания листа *CD* равна $\frac{\alpha r - \beta r'}{Q}$, а сила притяжения листа *IK* равна $\frac{\beta r - \alpha r'}{Q}$. Далее предположим, что банка находится в таком состоянии, что каждая из этих сил положительна, т. е. что лист *CD* фактически отталкивает жидкость, а лист *IK* притягивает. Ясно, что в этом случае, должно быть $\alpha > \frac{\beta r'}{r}$ и $\beta > \frac{\alpha r'}{r}$.

Итак, если, обозначив буквами μ и ν положительные числа, примем, что $\alpha = \frac{\beta r'}{r} + \mu$, а $\beta = \frac{\alpha r'}{r} + \nu$, то получим:

1) исключая α,

$$\text{сила листа } CD \ \frac{+\mu r}{Q},$$

$$\text{сила листа } IK \ \frac{+\beta[r^2 - (r')^2]}{Qr} - \frac{\mu r'}{r};$$

2) исключая β,

$$\text{сила листа } CD \ \frac{+\alpha[r^2 - (r')^2]}{Qr} - \frac{\nu r'}{Q},$$

$$\text{сила листа } IK \ \frac{\nu r}{Q}.$$

21. Теперь пусть

1) лист CD подвергнется прикосновению тела, неэлектрического по своей природе, напр. человека, не стоящего на телах, электрических по своей природе; так как теперь жидкость, выгнанная из листа CD, может вытекать свободно, то ее сразу же вытечет столько, сколько нужно для того, чтобы сила отталкивания листа CD стала равной нулю, т. е. она будет вытекать до тех пор, пока не станет $\alpha = \frac{\beta r'}{r}$, вследствие чего μ станет равным нулю. Итак, сила листа CD станет равной нулю, а сила листа IK, которая прежде была равной $\frac{\beta [r^2 - (r')^2]}{Qr} - \frac{\mu r'}{Q'}$, станет равной $\frac{\beta [r^2 - (r')^2]}{Q}$ и возрастает на количество $\frac{\mu r'}{Q}$. Если же

2) таким же образом прикоснуться к листу IK, то жидкость, притягиваемая этим листом и получившая теперь возможность свободно протекать в лист, до тех пор будет втекать в него, пока не исчезнет сила притяжения листа, т. е. пока не станет $\beta = \frac{\alpha r'}{r}$ или $\nu = 0$. Итак, сила листа IK станет теперь равной нулю, а сила листа CD, которая прежде была равна

$$\frac{\alpha [r^2 - (r')^2]}{Qr} - \frac{\nu r'}{Q},$$

станет равной $\frac{\alpha [r^2 - (r')^2]}{Qr}$, возрастет на количество $\frac{\nu r'}{Q}$.

22. Если мы теперь перенесем эти выкладки на случай, когда банка находится в состоянии максимума, и будем, как и прежде, обозначать избыток количества жидкости в CD через α, а недостаток жидкости в IK через β, то, согласно § 9, получим:

$$\frac{\alpha r - \beta r'}{Q} : \frac{\beta r - \alpha r'}{Q} = r : r',$$

откуда получим, что

$$\alpha = \frac{\beta [r^2 + (r')^2]}{2rr'},$$

а

$$\beta = \frac{2\alpha r r'}{r^2 + (r')^2}.$$

Итак, ввиду того, что $\alpha = \frac{\beta r'}{r} + \mu$, получим, что

$$\mu = \frac{\beta\,[r^2 - (r')^2]}{2rr'},$$

а ввиду того, что $\beta = \frac{\alpha r'}{r} + \nu$, получим, что

$$\nu = \frac{\alpha r'\,[r^2 - (r')^2]}{r\,[r^2 + (r')^2]}.$$

Итак, если

1) мы будем рассматривать случай, когда лист CD подвергается прикосновению, то получится, что, прежде чем произошло это прикосновение, сила листа CD была равна

$$\frac{+\mu r}{Q} = \frac{\beta\,[r^2 - (r')^2]}{2Qr'},$$

а сила листа

$$IK = \beta\,[r^2 - (r')^2] - \frac{\mu r'}{Q} = \frac{\beta\,[r^2 - (r')^2]}{Qr} - \frac{\beta\,[r^2 - (r')^2]}{2Qr} =$$

$$= \frac{\beta\,[r^2 - (r')^2]}{2Qr}.$$

Теперь пусть лист CD подвергнется прикосновению; так как μ стало равно нулю, сила листа IK будет равна нулю, а сила листа CD будет равна $\frac{\beta\,[r^2 - (r')^2]}{Qr}$; следовательно, эта сила возрастет точно вдвое. Если же

2) мы применим эти выкладки к случаю, когда прикосновению подвергается лист IK, то вначале сила листа IK равна

$$\frac{\nu r'}{Q} = \frac{\alpha\,(r')^2[r^2 - (r')^2]}{Qr\,[r^2 + (r')^2]},$$

а сила другого листа CD равна

$$\frac{\alpha[r^2-(r')^2]}{Qr}-\frac{\nu r'}{Q}=\frac{\alpha[r^2-(r')^2]}{Qr}-\frac{\alpha(r')^2[r^2-(r')^2]}{Qr[r^2+(r')^2]}=$$

$$=\frac{\alpha[r^2-(r')^2]}{Qr}\cdot\frac{r^2}{r^2+(r')^2}\,.$$

Если же лист IK подвергнется прикосновению, то сразу же, так как ν исчезает, сила листа IK станет равной нулю, а сила листа CD станет равной $\frac{\alpha[r'-(r')^2]}{Qr}$; так как $\frac{r^2}{r^2+(r')^2}$ приблизительно равно $^1/_2$, когда r мало отличается от r', то эта сила не точно, но приближенно вдвое больше той, которой лист CD обладал вначале.

23. Итак, подвергнется ли прикосновению лист CD или лист IK, в обоих случаях избыток количества жидкости в CD и недостаток его в IK мало изменяются. Действительно, количество, на которое изменяется первый, равно

$$\mu=\frac{\beta[r^2-(r')^2]}{2rr'}\,,$$

а количество, на которое изменится второй, равно

$$\nu=\frac{\alpha r'[r^2-(r')^2]}{r[r^2+(r')^2]}\,;$$

оба эти количества, пока r мало отличается от r', весьма малы.

Поскольку так случается каждый раз при повторении опыта, легко понять причину, почему при многократном повторении этого опыта, электричество убывает лишь незначительно. Далее, поскольку лишь малое количество электрической жидкости перескакивает в палец, прикасающийся к листу CD, и равным образом лишь малая его часть переходит из пальца, прикасающегося к листу IK, на этот лист, становится понятно, почему искры, которые банка испускает в обоих случаях, очень незначительны. В самом деле, более сильная искра

может возникнуть лишь в том случае, если из одного тела в другое перескакивает большое количество электрической жидкости.

24. Если мы применим эти выкладки к частному случаю, о котором мы говорили в §§ 15 и 16, то сила листа в то время, когда банка находится в состоянии максимума, будет равна $\frac{0.97362}{Q}$, а сила листа IK равна $\frac{0.96888}{Q}$. В этом случае $\alpha = 0.96877$, $\beta = 0.96872$, откуда получим, что $\mu = 0.00973$, а $\nu = 0.00963$. Итак, если

1) лист CD подвергнется прикосновению, то сила листа IK станет равной $\frac{1.92776}{Q}$, т. е. она будет вдвое больше первоначальной $\frac{0.96388}{Q}$. Если же

2) прикосновению подвергнется лист IK, то сила листа CD станет равной $\frac{1.9278}{Q}$, а это количество почти вдвое больше первоначального $\frac{0.97362}{Q}$.

Количества μ и ν — это те количества, на которые уменьшаются α или β, если подвергается прикосновению либо лист CD, либо лист IK. Ясно, что эти количества весьма малы.

25. Если r значительно отличается от r', то все то, что выведено, исходя из предположения, что r и r' приближенно равны друг другу, уже не может иметь силы. Следовательно, в этом случае количества μ и ν, т. е. уменьшения количеств α и β, будут значительно бо́льшими, причем сила листа IK даже удвоится, когда CD подвергается прикосновению, сила же CD, правда, возрастает, когда IK подвергается прикосновению, но она останется значительно меньшей, чем удвоенная первоначальная сила. Так, если мы возьмем случай, рассмотренный в § 17, то для банки, находящейся в состоянии максимума, сила листа CD будет равной $\frac{0.92362}{Q}$, сила листа IK будет равна $\frac{0.60790}{Q}$, $\alpha = 0.69230$,

$\beta = 0.67542$, откуда получим, что $\mu = 0.15197$ и $\nu = 0.121575$. Отсюда получается, что:

1) если лист CD подвергается прикосновению, то сила листа IK равна $\frac{1.21575}{Q}$, а эта сила в два раза больше первоначальной силы $\frac{0.60790}{Q}$;

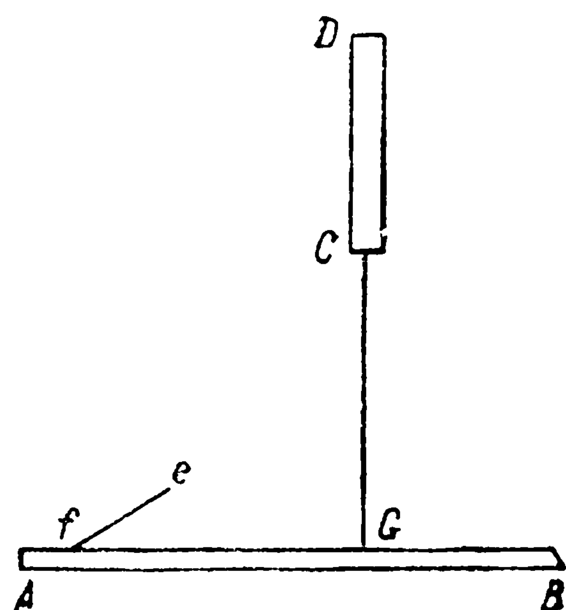
2) если лист IK подвергается прикосновению, то сила листа CD равна $\frac{1.24614}{Q}$, а это значительно меньше, чем удвоенная первоначальная сила $\frac{0.75682}{Q}$.

26. Все те предложения, которые мною здесь даны, имеют равную силу также и для того случая, когда лист вначале был наэлектризован не положительно, как мы здесь предположили, но отрицательно. Но так как общий способ рассуждения, примененный здесь, после небольших изменений сохраняет силу и для второго случая, то я предлагаю самим читателям потрудиться над применением сказанного здесь к этому случаю. Может быть, найдутся люди, которым не понравится, что я впал здесь в несколько чересчур пространные математические исследования, а есть люди, которым не нравятся такие выкладки в физике. Однако я смотрю на эти вещи иначе и считаю, что это маленькое сочинение, в котором я стремлюсь отыскать причины явлений, наблюдающихся в опыте Рихмана, имеет очень большое значение для подтверждения истинности выведенных мною первооснов электрической теории. Ведь надо считать, что физическая гипотеза приобретает значительно бо́льшую степень вероятности, если оказывается, что она вполне согласуется с очень сложными явлениями — именно с такими, которые могут быть выведены из нее только путем очень длинной цепи рассуждений. В самом деле, во-первых, если при установлении первооснов теории была допущена ошибка, то можно надеяться, что такого рода ошибка тем легче обнаружится, чем длиннее цепь рассуждений, с помощью которых из этих

первооснов выводится какое-либо явление. Во-вторых, ни у кого не может возникнуть подозрение, что теория могла быть с самого начала приспособлена для таких запутаннейших случаев. Поэтому такие явления надо считать наиболее подходящими для рассмотрения.

[II ДИССЕРТАЦИЯ] ОБЪЯСНЕНИЕ ОДНОГО ПАРАДОКСАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ЯВЛЕНИЯ

1. Недавно один из моих друзей, глубоко мною чтимый за его проницательность в физике и математике, напомнил мне об одном весьма парадоксальном магнитном явлении, описание которого и я когда-то читал, но я с трудом лишь вспоминаю об этом. Я совершенно забыл, в какой книге я нашел упоминание о нем, и мой друг также не мог вспомнить, откуда он его взял. Поэтому мне совершенно неизвестно, кто изобретатель этого опыта.

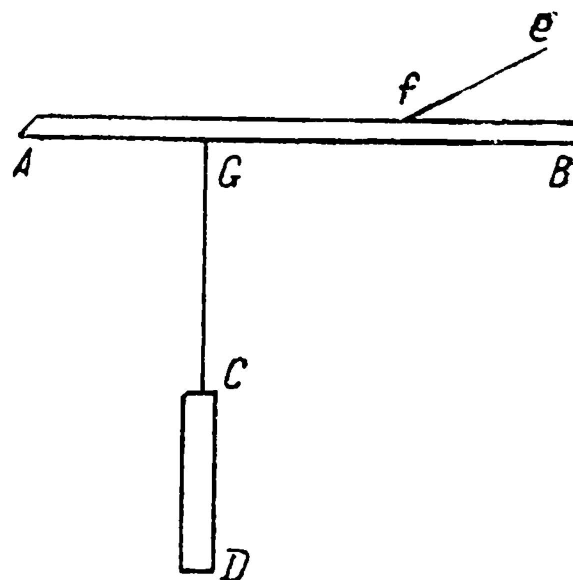


Фиг. CXVII.

2. Опыт, о котором я говорю, следующий. На ровную доску AB (фиг. CXVII) положим кусочек fe очень тонкой железной проволоки, имеющий примерно 1 линию или, самое большое, 2 линии в длину. Поместим затем неподвижно над доской на расстоянии одного или нескольких дюймов магнит CD, так чтобы один из полюсов его C был обращен к доске AB, но чтобы этот полюс не находился прямо над проволокой fe, но немного в сторону, и пусть точка G, через которую проходит вертикаль, опущенная из полюса магнита CD на плоскость AB, отстоит

от точки f на 1—2 дюйма. Тогда мы заметим, что проволока fe поднимется так, что займет положение, указанное на чертеже, и образует с плоскостью угол efB, который будет тем больше, чем меньше расстояние fG. Теперь будем встряхивать слегка доску так, чтобы проволока ef немного подскакивала; тогда мы заметим, что проволока будет перемещаться все ближе и ближе к вертикали CG и, наконец, достигнет своим концом точки G.

3. В том, что я описал, пока нет ничего удивительного и неожиданного. Действительно, перемещение проволоки fe по направлению к точке G легко можно объяснить притяжением, производимым на нее полюсом C. Но стоит немного изменить обстановку опыта, и результат окажется неожиданным. Пусть все останется, как было прежде, но только магнит будем держать под доской. И в этом случае проволока ef (фиг. CXVIII) поднимется и образует угол efB с плоскостью AB, и этот угол будет тем бо́льшим и тем более будет приближаться к прямому, чем меньше расстояние fG. Если же теперь привести в сотрясение доску, то проволока fe уже не будет приближаться к вертикали CG, как это было раньше, но наоборот, подвигаясь в обратном направлении, будет отходить от нее, так что может казаться, будто теперь полюс C отталкивает проволоку fe.

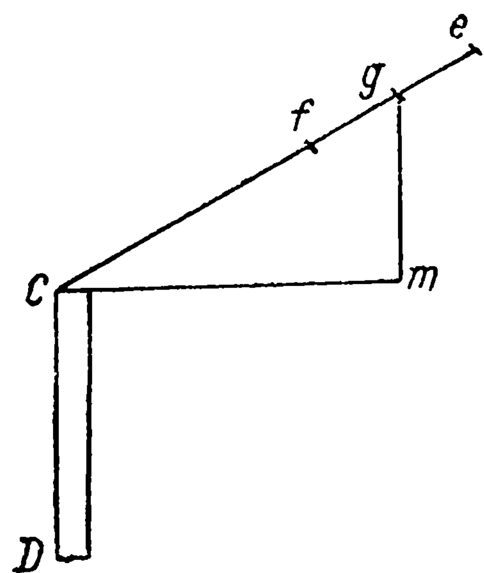


Фиг. CXVIII.

4. Если обсыпать доску AB железными опилками, а затем поместить магнит над доской, то легко понять, что с каждой крупицей железных опилок должно случиться то же, что и с проволокой fe; поэтому, если многократно встряхивать доску, то в конце концов все опилки, рассыпанные по доске во всех направлениях, соберутся в одну кучу как раз под полюсом C. Если же насыпать кучу опилок на доску около

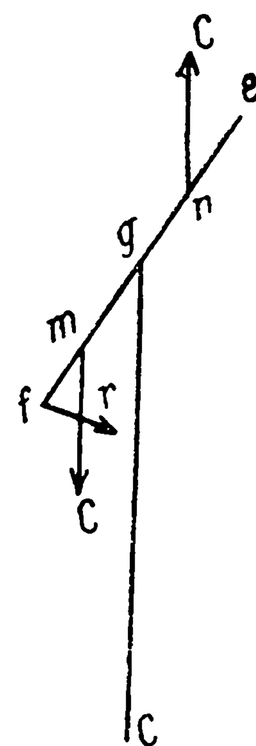
точки G, находящейся прямо над полюсом C, помещенным под доской, то при сотрясении доски эта куча сама по себе рассеется, а крупицы железных опилок, отодвигаясь от точки G во все стороны, оставят пустым район, смежный с точкой G. По такому плану опыт был поставлен в первый раз; как видно из описания, данного в §§ 2 и 3, я в основном ничего не изменил в постановке опыта.

5. Я убежден, что мне удалось открыть истинную причину этого явления. Чтобы иметь возможность отчетливо изложить ее и дать ее надлежащее приложение ко всем условиям опыта, мне придется предпослать несколько общих соображений. Представим себе, что железная проволока fe (фиг. CXIX) при помощи оси, пропущенной через ее центр тяжести, или каким-либо другим способом закреплена так, что в то время как точка g остается неподвижной, движение проволоки fe вокруг точки g остается свободным. Вообразим себе, что вся сила полюса C магнита AB, помещенного сбоку, сосредоточена в одной точке C, и пусть через точку C проходит горизонтальная прямая Cm, а прямая gm, проведенная из точки g, пусть будет перпендикулярна к ней. Я утверждаю, что проволока fe не придет в спокойное состояние до тех пор, пока не займет положения, при котором она будет направлена по продолжению прямой Cg и будет прямо обращена к точке C. Чтобы это стало ясным, обратим прежде всего внимание на следующее: поскольку ось проходит через центр тяжести g, мы можем рассматривать проволоку fe как не имеющую никакого веса; поэтому нам нужно считаться только с действием магнита на эту проволоку. Для того же, чтобы определить это последнее действие, мы должны вспомнить, что в силу подробно изложенного выше,



Фиг. CXIX.

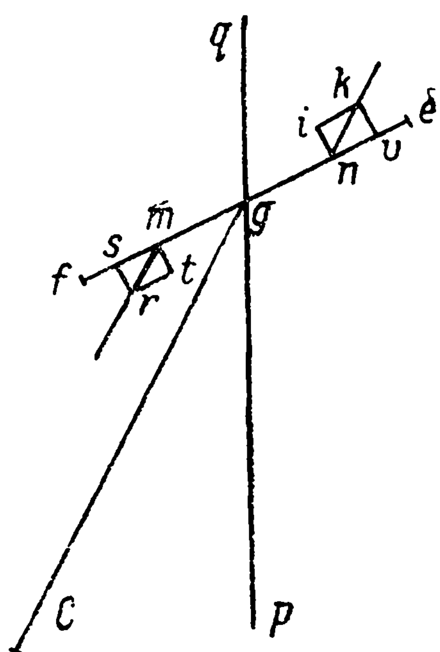
проволока fe, близкая к магниту, сама сразу же станет магнитом, причем будет соблюдаться правило, что в том случае, когда C — положительный полюс, часть, обращенная к нему, станет отрицательно-магнитной, а другая часть ge — положительно-магнитной. Если же C будет отрицательным полюсом, то все будет наоборот: первая часть проволоки станет положительно-магнитной, а вторая — отрицательно-магнитной. Отсюда следует, что часть fg будет притягиваться к точке C, а вторая часть ge будет отталкиваться от нее; эти силы мы можем представить себе приложенными к точкам, лежащим в середине частей fg и ge. Представим себе теперь, что проволока fe (фиг. CXX) первоначально не занимала того положения, при котором ее направление проходит через точку C, но что это направление образовывало угол fgC с прямой Cg. Само собой разумеется, в этом случае и сила притяжения Cm и сила отталкивания Cn совместно стремятся повернуть проволоку fe в направлении fr вокруг точки g так, чтобы она пошла по линии gC. Поэтому ясно, что проволока fe не успокоится ни в каком другом положении до тех пор, пока она не совпадет с прямой gC. Поэтому, даже если она первоначально и не занимала такого положения или же если она по какой-либо причине была сдвинута с этого положения, то вскоре она его займет и будет вынуждена вернуться в положение прямой gC, что́ и требовалось доказать.



Фиг. CXX.

6. Но не только проволока fe, закрепленная в точке g и свободно вращающаяся вокруг нее как вокруг центра, должна всегда принимать это указанное выше положение, но то же будет иметь место и в том случае, если мы представим себе, что проволока fe движется свободно вокруг точки g, но сама точка g не закреплена совсем и может свободно подниматься и опускаться по вертикальной пря-

мой qp. Действительно, если точка g так закреплена на прямой qp (фиг. CXXI), что не может быть сдвинута с этой линии, но по этой прямой может и подниматься и опускаться под действием какой-либо силы, то я утверждаю, что, тем не менее, проволока fe будет во время этого подъема или спуска так поворачиваться около точки g, что ее направление будет постоянно проходить через точку C. Действительно, приняв указанные выше условия, представим себе, что проволока fe (фиг. CXXI) не имеет такого положения, при котором ее направление проходит через точку C; ясно, что часть fg будет притягиваться к C в направлении mr, а часть ge отталкиваться в направлении nk; эти направления можно принимать параллельными линии Cg, если проволока fe, как мы здесь предположили, очень коротка. Если мы теперь разложим эти силы по правилам статики каждую на две составляющие, из которых одна будет параллельна проволоке, а другая перпендикулярна, то ясно, что если мы выразим силы, действующие на проволоку, прямыми mr и nk, то они разложатся: первая на силы ms и mt, вторая — на силы nv и ni. Из этих сил ms и nv, действуя в направлении проволоки, стремятся отодвинуть точку q от вертикали qp, а перпендикулярные силы mt и ni, содействуя друг другу, стремятся передвинуть проволоку в положение Cg. Но так как по условиям задачи первые силы не могут привести к результату, то ясно, что надо считаться только со вторыми, которые, поскольку им ничего не препятствует, не могут не привести к результату, к которому они стремятся, и должны придать проволоке такое положение, при котором ее направление все время проходит через точку C.



Фиг. CXXI.

7. Сказанное, по крайней мере с очень большим приближением, остается верным и в том случае, если точка g совер-

шенно свободна, так что она может беспрепятственно повиноваться любой силе, действующей на нее. Так, если проволока будет предоставлена самой себе или если какая-либо сила толкнет ее по любой прямой, то я утверждаю, что она поднимется вверх или спустится вниз, но, во всяком случае,

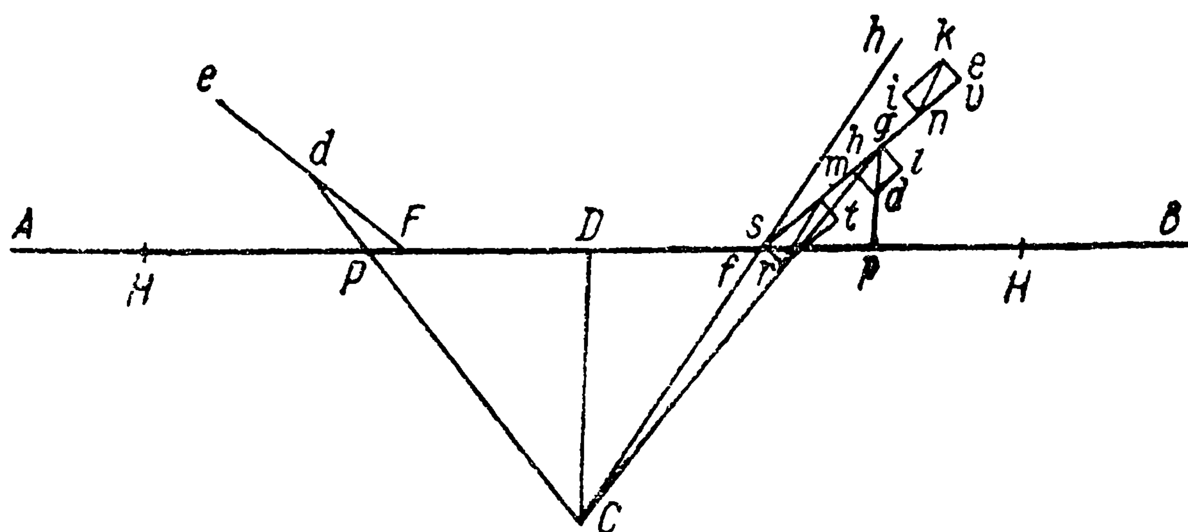
1) всегда будет повернута так, что ее направление пройдет через точку C,

2) ее центр тяжести g поднимется или опустится, по крайней мере, с очень большим приближением, а с точки зрения наших чувств и совсем, по той же вертикали pq, так что он никогда не отклонится от этой линии на расстояние, постижимое чувствами.

В самом деле, силами, действующими на проволоку, являются: во-первых, ее тяжесть (а она приводит только к тому результату, что заставляет центр тяжести двигаться прямо вниз, и поэтому либо замедляет поднятие этой точки по вертикали pq, или ускоряет опускание, и совершенно не стремится менять положение проволоки fe, каково бы оно ни было до этого); во-вторых, на нее действуют силы mr и nk, исходящие из точки C. Ясно, что если мы разложим эти последние силы так, как это было сделано в предыдущем параграфе, то каждая из сил mt и ni стремится придать проволоке направление прямой Cg, откуда ясно, что они должны до тех пор поворачивать ее вокруг точки g, пока ее направление не пройдет через точку C. Силы же ms и nv стремятся сдвинуть точку g с вертикали pq, причем первая передвигает ее к f, а вторая к e. Но я утверждаю, что результат действия этих сил будет настолько малым, что им можно пренебречь и его можно считать равным нулю. Действительно, так как мы предположили, что проволока fe очень коротка, то вследствие того, что расстояния Cm и Cn весьма близки к равенству между собой, сила mr будет лишь очень незначительно превосходить силу nk и точно так же сила ms — силу nv. Итак, разность между силами ms

и nv, $ms - nv$, т. е. та сила, которая стремится сдвинуть точку g с вертикали pq в направлении к f будет чрезвычайно малой и не сможет произвести никакого ощутительного действия.

8. Теперь перейдем к другому случаю, подлежащему нашему рассмотрению. Предположим, что на плоскости AB (фиг. CXXII), под которой находится полюс магнита C, расположена проволока fe в стороне от точки C, а именно, так, что середина проволоки g не находится на вертикальной прямой CD, но удалена от точки D либо несколько вправо,



Фиг. CXXII.

либо несколько влево. Я утверждаю, что эта проволока fe, если под доску подвести полюс магнита C, сама по себе поднимется и что проволока образует с плоскостью какой-то угол efB. Далее я утверждаю, что этот угол efB всегда будет меньше угла hfB, который образовывала бы проволока с плоскостью, если бы она приняла такое положение, что продолжение ее направления прошло бы через C. Чтобы лучше уяснить себе эту теорему, представим себе, что проволока f так закреплена в точке f, что точка f остается неподвижной, а проволока может свободно вращаться вокруг нее. Пусть полюс магнита помещается в C и пусть AB — горизонтальная прямая, проходящая через точку f. На проволоку fe, которую мы рассматриваем как рычаг, точкой покоя которого является точка f, действуют три силы.

Прежде всего тяжесть, или вес проволоки, который мы примем равным p, действует на его центр тяжести прямо вниз, по прямой gd, далее, часть fg притягивается к точке C в направлении mr, а часть ge отталкивается от этой точки в направлении nk; эти направления, по указанным выше соображениям, можно здесь принять как бы параллельными прямой Cg. Примем, что положение проволоки, изображенное на чертеже, такое, при котором эти силы взаимно уравновешивают друг друга, и будем в дальнейшем называть силу, с которой притягивается часть fg и с которой отталкивается ge, через α. По изложенным выше соображениям мы принимаем эти силы равными друг другу. Пусть, наконец, угол Bpg будет равен φ, а угол efB равен ψ и пусть длина проволоки fe равна m. Поскольку теперь эти три силы, действующие на рычаг, принимаются находящимися в равновесии, представим себе, что они, согласно правилам статики, разложены на силы, параллельные рычагу и перпендикулярные ему. Итак, если изобразить эти три силы прямыми gd, mr и nk, то после их разложения на составляющие рычаг будет подвергаться перемещению в направлении, параллельном себе, под действием сил gh, ms и nv, а под действием сил ge, gl и ni — в направлении, перпендикулярном первому. Так как угол $fgp = \varphi - \psi$, а $gl = ni = \alpha \sin(\varphi - \psi)$ и так как $dge = \psi$, то $ge = p \cos\psi$. Итак, в силу равенства моментов получим следующее уравнение:

$$\frac{mp\cos\psi}{2} + \frac{m\alpha\sin(\varphi - \psi)}{4} = \frac{3m\alpha\sin(\varphi - \psi)}{4}.$$

После приведения получаем

$$p\cos\psi = \alpha\sin(\varphi - \psi) = \alpha\sin\varphi\cos\psi - \alpha\cos\varphi\sin\psi,$$

откуда получается

$$\frac{\alpha\sin\varphi - p}{\alpha\cos\varphi} = \operatorname{tg}\psi,$$

или

$$\operatorname{tg}\psi = \operatorname{tg}\varphi - \frac{p}{\alpha\cos\varphi};$$

из этого уравнения определяется положение проволоки fe.

9. Это уравнение заслуживает того, чтобы отнестись с особым тщанием к выведению из него необходимых следствий. Прежде всего мы видим, что существуют два положения, прямо противоположные друг другу, находясь в которых рычаг fe может притти в состояние покоя. Действительно, так как тангенсу ψ соответствует кроме угла ψ еще бесконечный ряд углов, $\pi+\psi$, $2\pi+\psi$, $3\pi+\psi$, $4\pi+\psi$ и т. д., то очевидно, что если проволока fe пребывает в состоянии покоя, находясь в том положении, которое изображено на чертеже, и если прямую eg продолжить до точки F, то проволока будет в состоянии покоя также и в положении eF, прямо противоположном первому, так как угол $BFe = \pi+\psi$. Что касается остальных углов в ряде углов, имеющих тот же тангенс, что и угол ψ (этот ряд можно продолжать и вперед и назад), т. е. что касается углов $2\pi+\psi$, $3\pi+\psi$, $4\pi+\psi$ и т. д. или углов $-\pi+\psi$, $-2\pi+\psi$, $-3\pi+\psi$ и т. д., то нет нужды с ними считаться, так как они, очевидно, лишь повторяют положения рычага fe и eF и не дают никаких новых. В предлагаемом же случае, как мы можем легко заметить, на практике не имеет места то, что абстрактно представляется возможным. То решение, которое мы получили из нашего уравнения, было бы верным, если бы и при повороте проволоки ef в положение eF все еще часть gF притягивалась к C, а часть ge отталкивалась от точки C. Однако ясно, что в случае, если стрелка займет положение eF, согласно известным законам магнитного действия, такое положение вещей не будет иметь места. Действительно, теперь уже часть gF получает противоположный магнетизм, а часть eg — тот же магнетизм, что̀ и полюс C, а следовательно, в этом положении первая часть притягивается, а вторая отталкивается. Итак, ясно, что в нашем случае суще-

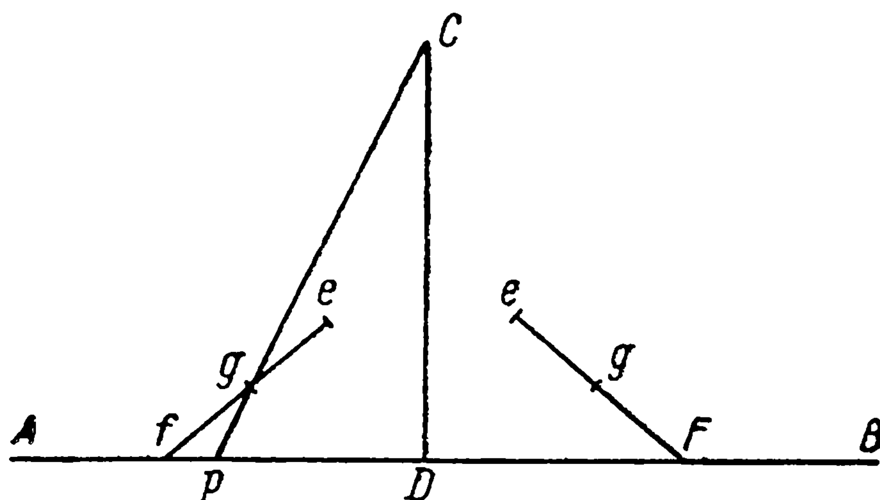
ствует только одно положение, находясь в котором, проволока *fe* может пребывать в состоянии покоя, и это то положение, которое дано на чертеже и которое одно только соответствует условиям того случая, который мы здесь рассматриваем.

10. Если мы примем, что угол *gfB* равен прямому, т. е. что $\varphi = \frac{\pi}{2}$, то будет $\sin\varphi = 1$, а $\cos\varphi = 0$, а следовательно, $\operatorname{tg}\psi = \infty$. Это показывает, что если проволока *fe* займет такое положение, что точка *g* окажется на вертикальной прямой *CD*, то проволока *fe* должна иметь вертикальное направление. Но чем более точка *g* отодвинется в правую сторону от прямой *CD*, тем меньшим, очевидно, станет угол φ, а значит, $\sin\varphi$ будет непрерывно уменьшаться, а $\cos\varphi$ — увеличиваться. Итак, по обеим этим причинам значение тангенса ψ, равного $\frac{\alpha \sin\varphi - p}{\alpha \cos\varphi}$, будет постоянно уменьшаться. Следовательно, угол ψ при продвижении вправо должен становиться все меньше и меньше до тех пор, пока $\sin\varphi$ не станет равным $\frac{p}{a}$; в этом случае $\operatorname{tg}\psi$ станет равным нулю и сам угол ψ исчезнет. Если же отодвинуть проволоку *fe* еще дальше направо от *D*, то вследствие постоянного уменьшения силы α, в конце концов станет $\sin\varphi < \frac{p}{a}$, а в таком случае $\operatorname{tg}\psi$ станет отрицательным. Следовательно, в этом случае и сам угол ψ должен быть отрицательным, а проволока *fe* опустится под горизонталь *AB*.

11. Если перенести проволоку *fe* влево от прямой *CD*, то легко понять, что угол *gPB* станет тупым, а значит при $pD = PD$ наша формула может быть применена и для этого случая, если принять, что угол φ становится теперь равным $\pi - \varphi$. В этом случае $\sin gPB$ будет равным $\sin(\pi - \varphi) = \sin\varphi$, но $\cos gPB = \cos(\pi - \varphi) = -\cos\varphi$. Если подставить эти значения, то получим, что $\operatorname{tg} eFB = -\frac{\alpha \sin\varphi - p}{\alpha \cos\varphi} = -\operatorname{tg}\psi$; поэтому угол *eFB* будет равен $\pi - \psi$, или *eFA* будет равен ψ.

Итак, ясно, что если отходить от вертикали налево, то угол eFA будет претерпевать те же изменения, которым подвергался угол efB в том случае, когда мы переносим проволоку направо.

12. Если полюс магнита C будет находиться над точкой f и проходящей через нее горизонтальной прямой AB (фиг. CXXIII), то, сохраняя те обозначения, которые мы употребляли выше, и произведя расчет совершенно таким же образом, как выше, получим уравнение $\operatorname{tg}\psi = \frac{\alpha \sin\varphi - p}{\alpha \cos\varphi}$, совершенно совпадающее с предыдущим; к нему можно применить все то, что было сказано в §§ 9, 10 и 11. Отсюда ясно, что в том случае, если проволока fe будет находится на вертикальной линии прямо под точкой C, то проволока должна принять вертикальное положение, если же затем она будет перемещаться влево, то угол gfB будет непрерывно уменьшаться до тех пор, пока, наконец, не станет равным нулю и проволока fe придет в состояние покоя, находясь на горизонтальной линии AB; если же мы перейдем этот предел, то она спустится под горизонталь. Не менее ясно, что если перенести проволоку fe вправо от вертикали CD, то угол gFA подвергнется тем же изменениям, которым подвергался в предыдущем случае, как мы могли наблюдать, угол gfB.



Фиг. CXXIII.

13. Изложив с достаточной полнотой основные положения, служащие для объяснения нашего явления, приложим их к случаю, разбор которого является нашей целью. Без труда можно понять, что в случае, когда проволока fe будет положена на доску AB, под которой находится магнит C,

точку *f* можно будет рассматривать как точку покоя рычага *fe*. Действительно силы *ms*, *gh* и *nv*, стремящиеся переместить проволоку в направлении, параллельном проволоке *fe*, поглощаются трением по плоскости *AB* и ее сопротивлением; поэтому здесь следует рассматривать только силы *gl*, *ge*, *ni* действующие в перпендикулярном направлении. Из §§ 9, 10 и 11 ясно, что в том случае, когда проволока будет помещена на вертикали *CD*, она должна находиться в положении, перпендикулярном к плоскости доски *AB*, если же она будет отодвинута от точки *D* или направо, или налево, то хотя проволока и поднимется, так что образует с плоскостью доски угол *efB*, однако же этот угол будет меньше прямого и будет тем более уменьшаться, чем более увеличится расстояние от точки *D*, и, наконец, совсем исчезнет. Пусть точка *H* будет этим пределом; так как за этим пределом рычаг *fe* должен, для того чтобы притти в состояние покоя, спуститься ниже плоскости *AB*, а такому опусканию препятствует доска *AB*, то ясно, что если проволока будет отодвигаться от *D* за точку *H*, то она должна все время лежать на плоскости *AB* и не подниматься над ней. То же будет наблюдаться и в том случае, если полюс магнита *C* будет находится над доской, так как и в этом случае проволока будет расположена вертикально, перпендикулярно к плоскости, когда полюс находится прямо над ней по вертикали, если же ее отодвигать в сторону, то она будет иметь все меньший и меньший наклон к доске, пока мы не дойдем до точки, в которой угол, который она образует с доской, станет равным нулю; если же проволока будет передвинута за эту точку, то она должна была бы для того, чтобы получилось равновесие, опуститься ниже горизонтальной линии; но так как доска *AB* не позволяет этому произойти, то в тех случаях, когда проволока будет отодвигаться от точки *D* за *H*, она должна будет все время лежать на плоскости *AB*.

14. Теперь правильность всего того, что я утверждал в § 8, становится непосредственно очевидной; ясно, что угол

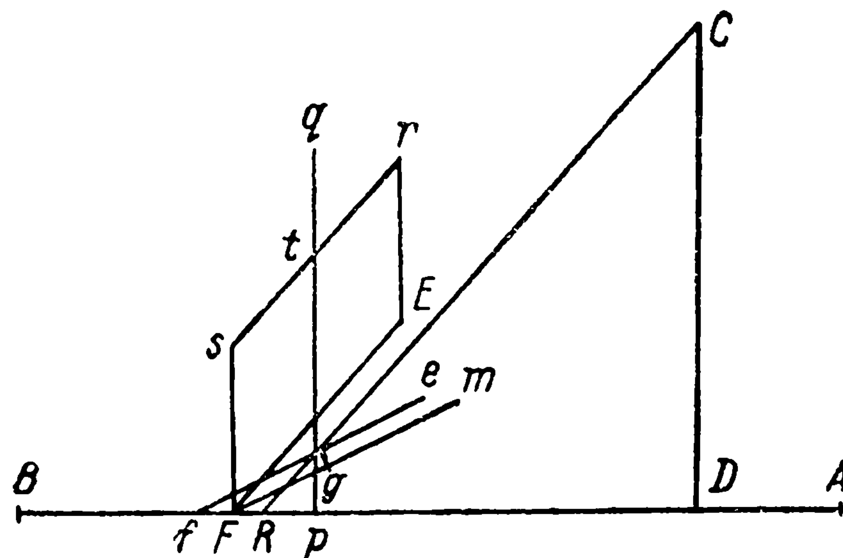
$efB = \psi$ и что он всегда меньше угла $gpB = \varphi$. Действительно, так как $\operatorname{tg}\psi = \operatorname{tg}\varphi - \frac{p}{\alpha \cos\varphi}$, то ясно, что $\operatorname{tg}\psi < \operatorname{tg}\varphi$, а следовательно, и сам угол $\psi < \varphi$; это верно и для случая, когда полюс C находится над доской. Действительно, и в этом случае проволока fe немного поднимается, но так, что угол efB, который она образует с плоскостью, т. е. ψ, всегда меньше угла gpB, т. е. φ.

15. Поместим теперь полюс C магнита под доску AB (фиг. CXXIV) и примем, что железная проволока fe заняла положение efB. Встряхнем доску, и проволока fe подскочит; причем, в результате этого скачка, точка g поднимется прямо вверх в точку t. Из вышеизложенного ясно, что при этом подъеме и следующем за ним спуске точка g не сдвинется на ощутимое расстояние с прямой pq, но проволока fe в течение этого времени повернется так, что ее направление пройдет через точку C, т. е. так, что она займет положение rts, параллельное прямой Ct (это будет верно, если высота скачка pt, как мы здесь предполагаем, будет очень малой). Итак, когда падающая проволока снова непосредственно приблизится к доске, она будет занимать положение FgE и, следовательно, ее нижний конец передвинется из f в F. Но так как $pf : pF = \cos\psi : \cos\varphi$, то ясно, что pF меньше, чем pf, а следовательно, точка f и вся проволока fe должна при этом скачке немного отодвинуться от точки D. После того как проволока fe спустится уже настолько, что снова коснется своим нижним концом F доски AB, ясно, что она не сохранит положения, параллельного линии Ct, но, так как конец E опустится, угол EFB должен умень-

Фиг. CXXIV.

шиться так, что mFB станет равен углу efB или, вернее, немного меньше его. Итак, каждый раз, как доска встряхивается и как подскакивает проволока fe, она удаляется на небольшое расстояние от точки D; поэтому при часто повторяющемся сотрясении доски, она должна удаляться все более и более от этой точки.

16. Совершенно противоположное этому должно, однако, произойти, если полюс C магнита будет поднесен к плоскости AB (фиг. CXXV) сверху: в этом случае при сотрясении доски проволока fe должна все более и более приближаться к точке D. В самом деле, проволока fe, до того как доска приведена в сотрясение, получит такое положение, что угол $efA = \psi$ меньше угла $gRA = \varphi$. Когда же мы встряхнем доску и когда вследствие толчка проволока поднимется по вертикальной прямой, так что точка g будет перенесена в t, проволока fe в продолжение этого подъема и следующего



Фиг. CXXV.

за ним спуска так повернется, что ее направление пройдет через C, т. е. так, что она займет положение str, приближенно параллельное прямой Cg. Когда же проволока упадет, сохраняя, по крайней мере, приближенно параллельность с Cg, ее конечная точка f перенесется в F; следовательно, поскольку $pF : pf = \cos\varphi : \cos\psi$, а вследствие этого, $pF < pf$, вся проволока приблизится к вертикали CD на расстояние fF. Но после того как проволока fe займет положение EF, ее конец E еще немного опустится так, что она займет положение mF, приближенно параллельное прежнему положению ef, или, вернее, такое, что оно образует угол mFA, несколько бо́льший, чем угол efA. Итак, теперь ясно, почему

в опыте, поставленном таким образом, что полюс C магнита находится над доской AB, проволока fe будет все ближе и ближе приближаться к вертикали CD и почему в этом случае исход совершенно противоположен тому, который наблюдается, когда магнит приближается к доске снизу.

РЕЧЬ О СХОДСТВЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИЛЫ С МАГНИТНОЮ





Что[1] сего ужасного здания, в котором обитаем, творец не только всемогущ, но и премудр, в том удостоверяемся тем наипаче, что естество обыкновенно немногими и простыми средствами бесчисленные и весьма связные свои намерения исполняет. Натура закон сей так постоянно наблюдает, что между вечными почти правилами полагать должно, что она в действиях своих расточительна, а в средствах скупа и бережлива. Не хочу вам приводить, почтенные слушатели, для подтверждения сей истины бесчисленного множества примеров, но чтоб хотя один представить, не удивился ли бы не знающий новых в физике учиненных изобретений, или не подумал ли бы, что я совсем ложное предлагаю, когда бы сказал, что отрок, играющий куском тертого янтаря, плеву притягивающего, гром и молнию в руках имеет. Между тем исследователям натуры от некоторого уже времени заподлинно известно, что натура тою же силою и теми же средствами производит, что янтарь, притягивая плеву и опилки, увеселяет отрока и что молниеносное и смертным пагубою грозящее облако и самого небоязливого героя устрашает.

Сколько ни случалось по сие время неусыпным прилежанием доходить до сокровенных причин естественных явлений, везде сия премудрая и удивительная натуры бережливость примечена. И посему по справедливости можно думать, что оная и в тех вещах, которые от нас за темностию своею сокровенны, равномерно наблюдается.

Некоторые, ведая сие обыкновение натуры, думали, что сии естественные чудеса, древним или совсем неизвестные, или мало знаемые, то есть магнитная и електрическая сила, или от тех же, или от подобных причин зависят;[a] и кажется, что они больше похвалы, нежели поношения достойны. Ибо хотя и должно признаться, что те, которые по сие время о сходстве сих сил рассуждали, больше догадывались, нежели оное совершенно познавали; однако ж не надлежит порицать того, кто показывает, с которой стороны, ведущий к познанию натуры путь искать должно, хотя оного точно показать не может.

За несколько до сего лет рассуждал я иногда о подобных вещах и искал истинного пути к познанию сих таинств натуры; но найти оной так всегда было трудно, что, наконец, утрудившись, принужден был отставать от дальнейшего исследования. Напоследок попался мне некоторый електрическую силу имеющий камень, который сверх других удивительных свойств потому мне примечания достоин показался,

[a] Больше нежели за десять, как помнится, лет Бурдожская академия наук предлагала с награждением задачу, есть ли какое сходство между електрическою и магнитною силою и в чем оно состоит? Чья была диссертация, за которую дано награждение, не помню и оной до сих пор никогда мне видеть не случалось. Но едва тогда было возможно показать совершенное сходство сих сил; ибо прежде найденной Франклином теории другого сходства между помянутыми силами не известно было, как что магнит и електрические тела разные притягания и отгонения производят, а правила, по которым действия сии бывают, должны были казаться совсем различны. Правда, что изобретения славного г-на Дю-Фей и опыты над електрическою силою стекла и смолы могли бы показать дорогу к познанию искомого сходства, но знание о противных между собою стекла и смолы електрических силах тогда отчасти презираемо было, для того что примечания г-на Дю-Фей не от противных между собою сил, но от неравного градуса електрической силы, который стекло и смола сообщают, обыкновенно производили; отчасти изобретателева погрешность, будто бы иной род електрической силы стекло и иной смола имела, препятствовала, что сего сходства видеть было невозможно.

что действиями своими весьма сходствовал с магнитом. При сем случае возобновлялись во мне прежние мои рассуждения; начал я сравнивать обоих сил явления, и великий в деле сем получа свет, уверен был, что уже не совсем безызвестно, каким образом действует натура, когда магнитные явления производит.

Дела, о которых здесь говорю, суть всемогущего бога; и посему уповаю, что речь мою о сходстве електрической и магнитной силы внимания вашего чрез краткое время удостоите и оную благосклонно выслушать соблаговолите. Но наперед должен я прощения просить, ежели мое слово будет не пристойно высокоторжественному дню... сей в слове моем недостаток припишите наипаче несовершенствам оратора, а притом и самому свойству предлагаемой мною материи, которая больше ясного и достоверного изъяснения, нежели красноречия требует.

Должно думать, что натура или некоторым образом завидлива в своих таинствах, или любит острить человеческий разум и испытать прилежание: ибо так тщательно употребляемые в произведениях явлений средства укрывает, что их при первом взгляде никогда видеть не можно; но разве по учинении бесчисленных испытаний до познания таинств своих допускает.

Таким же образом натура поступает и обыкновению своему последует в рассуждении сходства електрической и магнитной силы. Ибо с самого начала видимые и весьма простые явления едва имеют такое между собою подобие, чтоб подумать можно было о сходстве причин магнитной и електрической силы; и разве по учинении от испытателей натуры над магнитною и електрическою силою бесчисленных исследований тайну сию совершенно познать можно было.

Чем трудняе, тем приятнее будет, как обыкновенно в делах человеческих бывает, когда мы совершенное между обеими силами подобие усмотреть можем.

Смелость, с которою я здесь о совершенном сходстве упоминаю, может быть вам, почтенные слушатели, противна покажется, нижé я подтверждаю, чтоб оное подобие никаких пределов не имело. Ибо електрическую силу в различности своих явлений почитаю изобильнее магнитной, и в таком только смысле сие говорю, что нет ни одного от магнитной силы зависящего явления, которому бы подобного и сходственного в електрических явлениях не находилось. Но не обратно, будто бы всякому електрическому явлению сходственное магнитное показать можно было. Ежели слова мои таким образом разуметь изволите, то уповаю, что мне можно будет совершенно уверить вас о сходстве магнитной силы с електрическою.

Тщательному испытателю натуры господину Дю-Фей сие приписать должно, что теперь заподлинно ведаем, что двоякая електрическая сила находится.[b] С самого начала, как и обыкновенно бывает, сие знание было несовершенно и недостаточно. Сей почти к исследованию натуры родившийся испытатель, усмотря один род електрической силы в одном только стекле, а другой в смолах только и смоляных телах, думал, что одна електрическая сила стеклу, а другая смолам неотменно свойственна. Но теперь уже заподлинно ведаем, что и та и другая обоим телам прилична. Или, как сам изобретатель себя изъясняет, что не токмо стекло смоле, а смола стеклу свойственную електрическую силу восприять может, но всякому телу обе електрические силы равномерно приличествуют.

По усмотрении сей погрешности должно было выдумать новые наименования, дабы изобретателева ошибка с неправедливыми его наименованиями не предана была потомкам. Итак весьма важные причины искуснейших физиков убедили,

---

[b] См.: Memoires de l'Academie Royale des sciences de Paris, 1733. Четвертое сочинение об електрической силе г-на Дю-Фей и о притягании и отгонении тел електрических, стр. 617, издания Амстерд.[2]

оставя употребляемые помянутым изобретателем имена, електрическую силу разделить на *положительную* и *отрицательную*. Первым наименованием означают ту, которую полированное[c] и сукном или рукою тертое стекло принимает, а другим ту, которую сера и всякие смолы подобным образом получают. Но скучно бы вам было и к делу сему не пристойно, ежели б я хотел объявлять причины, для которых сии, а не другие наименования приняты.[d]

---

[c] Чтобы стекло было полировано, нарочно придаю, потому что из опытов Кантона известно (Philosophical Transactions, кн. XLVIII, часть II, стр. 780), что ежели стекло от долгого трения лишится гладкости и прозрачности, такую, какую сера, производит силу.

[d] Все електрические явления приписывать должно некоторой жидкой материи, которая сама собою по всем телам в весьма краткое время равно распространяется. Пока в телах сие, как бы сказать, натуральное жидкой материи количество находится, то со всех сторон бывает равновесие и никакого не видно взаимного от електрической силы в телах действия. Посему, ежели кто електрическую силу произвесть хочет, тот должен разрушить равновесие и переменить в теле натуральное количество жидкой материи. Сие можно сделать двояким образом: или умножая оную в теле, или уменьшая. Посему два рода електрической силы быть должны, которые для разделения не худо названы быть могут *положительною* и *отрицательною*. Сии наименования всяк, знающий употребление слов у математиков, похвалит. Словом положительной електрической силы пристойно будет означать ту, которая производится в теле, когда количество материи сверх натурального умножается, а отрицательной — когда от уменьшения количества материи електрическая сила происходит. Для чего точно та, которая трением сукном в стекле производится, положительною, а в сере — отрицательною называется, кроме одного употребления, никакой причины сказать не могу. Ни одного по сих пор не известно явления, из которого бы не только различать, но хотя бы догадываться можно было, которая от умножения и которая от уменьшения материи зависит. Не найдено еще ни одного опыта, который бы что-нибудь сверх противных сих електрических сил показать мог. Не решат, как мне кажется, сего вопроса доказательства, которые Франклин приводит в письме IX второй части, об опытах и наблюдениях електрической силы, стр. 103 и сл. Некто из друзей моих в письме,

Испытатели натуры сие различие електрических сил, вопервых, из того познали, что тела, разными силами наелектризованные, противные между собою действия производят. Хотя тела как положительной, так и отрицательной електрической силы в том совершенно сходствуют, что все неелектризованные тела к себе притягивают; однако ж в действии, которые они в других наелектризованных телах производят, совсем между собою противны. Ибо тело положительной електрической силы наелектризованные тела те отгоняет, которые отрицательную имеющее притягивает; и обратно, которые последнее отбрасывает, те первое к себе привлекает. Они постоянно свой закон наблюдают, что одинакого роду и в равном почти градусе електрические тела как не-

---

ко мне присланном, думал, что ежели бы можно было определить, какую барометры имеют силу, когда в них ртуть подымается или опускается, то бы можно было решить сей вопрос. На сей конец делал я опыты, и как в светящемся барометре некоторую часть верха, ртути не имеющего, покрыл металлическими листочками и принудил ртуть по переменам то подыматься, то опускаться, то приметил:

1) когда ртуть опускалася, то листочки получали такую електрическую силу, какую гладкое стекло производит;

2) когда ртуть подымалась, то електрическая сила в листочках уменьшалась; и когда ртуть доставала до самого верха трубки, то сила совсем пропадала;

3) когда ртуть переменно то опускалась, то подымалась, держал приложенный палец к металлическим листочкам, после того принудил ртуть опускаться; а как палец отнял, то опять подыматься до самого трубки верху; тогда

4) металлические листы такую показывали електрическую силу, которую обыкновенно сера производит; а когда опять

5) помалу принуждал ртуть опускаться, во время опускания електрическая сила меньше становилась, а напоследок и совсем исчезала;

6) Я во всех сих опытах ничего не вижу, что бы могло служить к решению вопроса. В прочем сии явления с теорнею Франклиновою так согласны, что особливого примечания кажутся достойны, о чем инде пространнее говорить буду. Мне весьма удивительно кажется, что г-н Мушенброк не только о притягающей и отгоняющей барометров силе сомневается, но и совсем отметает в физике своей (§ 1399, стр. 68).

приятели дружка дружку убегают, напротив того, различного електрического роду, аки дружество наблюдая, взаимно между собою совокупляются.

Но что подобнее и сходственнее быть может предписанных от натуры магнитной силе законов с вышеупомянутыми електрическими правилами. Что двоякая есть магнитная, так как и електрическая сила, то так всякому известно, что ежели бы я, пространно о сем предлагать хотел, то б больше опасаться быть должен, дабы вам не нанесть скуки, нежели возбудить внимание ваше. Всяк из вас весьма удобно вспомнить может, что как северный, так и южный магнита полюс простое железо равномерно притягивает, однако ж северный магнита полюс другого магнита или железа намагниченного, напр. магнитной стрелки, тот конец притягивает, который южный полюс от себя отгоняет, напротив того, южный притягивает тот конец, которой северный полюс прогоняет. И посему магнит в притягании и отгнании железа совсем те же законы наблюдает, которым електрические тела подвержены. Ибо ненамагниченное железо, от тела какую бы оно магнитную силу ни имело, всегда притягивается; а когда один магнит действует на другой или на намагниченное железо, которое за настоящий магнит почитать должно, то тела одинакой магнитной силы дружка дружку гонят, или от себя отдаляют; напротив того, различной силы — друг друга притягивают. Следовательно, действие магнита ни в чем не разнствует от действия електрических тел, и сего совершенного сходства ничто не превращает, кроме того, что магнитная сила на одно железо и на сходные с железом тела действует, а действие електрических тел не в толь тесных пределах заключается, потому что оные не на некоторые только, но на все по сие время известные тела действуют.

Но как бы велико ни было предложенное мною между магнитною и електрическою силою сходство, однако, может быть, то сумнительно вам покажется, находится ли сие сход-

ство в другом каком-нибудь явлении? По сие время ни на поверхности земной, ни в глубочайших ямах не найден, ниже человеческим искусством произведен такой магнит, который бы по всему протяжению имел один только род магнитной силы. Заподлинно известно, что всякий магнит обе магнитные силы купно и постоянно в себе имеет: ибо, когда в каком-нибудь теле, которому магнитную силу сообщить можно, с одной стороны находим магнитную силу, например ту, которую обыкновенно северною называем, то с другой стороны тело будет иметь южную магнитную силу, и первой совсем противную.[e] Напротив сего, простые и всякому известные опыты показывают, что сие свойство не так постоянно в наелектризованных, как в намагниченных телах. Часто или, лучше сказать, всегда електризуемые тела по всему своему протяжению или положительную, или отрицательную електрическую силу получают. Несмотря на то, не думайте, чтоб я здесь показать не мог вышепомянутого сходства.

Во-первых, представляется мне оное естественное чудо, о котором я еще сначала упоминал, то есть удивительный Цейлонский камень, который меня возбудил к сим исследованиям. Хотя многие примеченные мною обстоятельства в помянутом камне могли бы возбудить в вас удивление, однако ж я за благо рассуждаю здесь предложить те только, которые к намерению моему собственно служат. Ибо я посторонними и к делу не принадлежащими рассуждениями утруждать вас не намерен.

Помянутый камень, которому, сколько мне по сие время известно, подобного нет, находится в восточной Индии на одном только острове Цейлоне и называется трип, турмалин; купцы, торгующие каменьями, коим хотя мало, однако ж не совсем не известен, именуют его по-латынски Magnes Cinerum, а по-

[e] Я не разумею здесь неправильные магниты, в которых больше нежели два полюса примечается. Ибо вероятно, что такие магниты ни что иное суть, как множество магнитов, в одно место соединенных.

немецки Aschen-Zieher, то есть магнит, притягающий пепел. Сей камень тверд и прозрачен и в довольно жестоком огне невредим пребывает и посему должно его полагать между дорогими каменьями. Сколько простыми глазами и чрез увеличивательные стекла усмотреть можно, по всему своему протяжению совсем одинакое сложение имеет, а цветом своим хотя и подходит к яхонту, однако ж очень темняе его бывает.

Чрез многочисленные опыты, коих окончание чрез долгое время сумнительно казалось, нашел я напоследок и ясно усмотрел в камне сем двоякую електрическую силу, из коих первая трением, а другая сообщением камню известного градуса теплоты производится.

Електрическая сила, которую камень посредством обыкновенного трения получает, от свойственной не только стекляным телам, но и самому простому стеклу, нимало не разнится. И понеже она при сих обстоятельствах только обыкновенные явления производит, то никакого описания не требует.

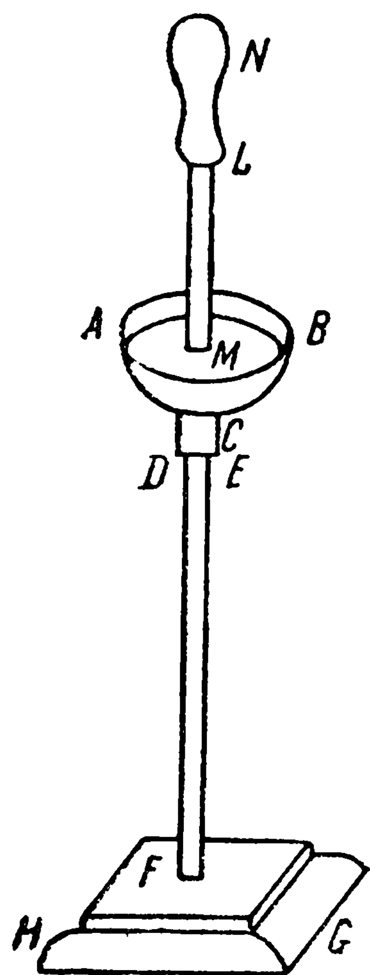
Большего удивления достойна електрическая сила, которая в помянутом камне посредством теплоты производится. Когда он нагреется несколько больше, нежели как кровь здорового человека обыкновенно тепла бывает, то показывает весьма сильную, в рассуждении своей величины, електрическую силу, и долго оную сохраняет. Такого союза между теплотою и електрическою силою не видно, чтоб когда камень простывать начинает, то б и сила в нем пропадала, или, сходнее сказать, когда в нем однажды електрическая сила произведена будет, то хотя б камень и совсем простыл, однако ж она и после того постоянно продолжается, так что по прошествии шести или седми часов еще весьма чувствительна бывает.

Тогда усматривается совершеннейшее с магнитом сходство, и для того здесь о сем камне упоминаю. В нагретом турмалине обыкновенно одна сторона положительную, а другая отрицательную електрическую силу, так как магнит обе

магнитные силы, имеет, и с магнитом, не только в том сходствует, что два аки бы полюса имеет, но и в притягании и отгонении наблюдает совершенно сходные законы с теми, которые в магнитных действиях постоянно примечаются.[f]

---

[f] Совершенного всех свойств турмалина описания, которое сообщил я королевской Берлинской академии наук, предлагать здесь не намерен, и для того в ее Комментариях оных искать должно;[3] между тем упомяну о некотором чрезвычайном сего камня явлении. Ежели весь турмалин и с обеих сторон равно нагреется, то один бок будет иметь положительную, а другой отрицательную електрическую силу, и никогда бока его сил своих не переменяют, разве только тогда, когда один из них будет более нагрет, нежели другой. В таком случае бок, который обыкновенно имеет положительную, принимает отрицательную, а который имеет отрицательную, положительную показывать будет силу. Когда спустя несколько времени теплота по всему камню равно разделится, в прежнее состояние сам собою приходит, и бок, который имеет положительную силу, принимает на себя отрицательную, а другой, который показывал отрицательную, получает положительную. Сие свойство сперва в одном только турмалине я приметил, а недавно подобное сему и в сере видеть случилось. Она наподобие турмалина иногда сама собою положительную свою силу переменяет на отрицательную. Чтоб уверить о сем предложении, смею сдесь краткое дать описание опыта, помощию которого я, узнав сие свойство серы, велел себе сделать (фиг. I) оловянное блюдцо наподобие сферического сегмента AB, к которому присовокуплен был пустой цилиндр CD. В него воткнул хрустальную трубку EF, которая стояла на подпоре HG. На блюдцо налил растопленную серу, и как скоро она застыла, то приклеил к ней сургучем хрустальную трубку LM с деревянною руковяткою LN и приметил следующие перемены:



Фиг. I.

1) пока сера соединена была с оловянною чашкою, то никакой не имела силы, а когда серный сегмент отделял от чашки, то

2) чашка отрицательную, а сера положительную силу на себя принимала, по соединении серы с чашкою електрическая сила совсем исчезала;

3) когда спустя целые сутки отделил серу от чашки, то сера имела отрицательную, а чашка положительную електрическую силу; и сие

Не сей только один пример имеем, где бы в одном теле обе електрические силы видимы были, но другой предподает нам лейденский весьма известный стекляной сосуд. Ибо не безызвестно, что по Франклинову предписанию помянутый сосуд, обыкновенным образом наполненный електрическою силою и на стекле поставленный или на шелковых нитках повешенный, как на внешней так и на внутренней поверхности своей показывает електрическую силу, и внешняя сила внутренней совсем противна примечается.[g]

продолжалось долее как чрез восемь дней, пока хрустальная трубка, вместо подпоры у чашки служащая, по случаю не переломилась.

Тот же опыт и с таким же успехом повторял я несколько раз, употребляя вместо оловянной чашки медную. Других явлений, мною примеченных, здесь не прилагаю, хотя они весьма внимания достойны. Но о том только еще упомяну, что иногда сера сперва имела отрицательную електрическую силу, и в таком случае перемены самой от себя в противную силу ожидать не должно. Сие для того напоминаю, чтоб кто, повторяя опыт и видя несходство в своих опытах с моими, не подумал, что я ошибся. Сверх сего примечания достойно, что обыкновенная сера и в том с турмалином сходствует, что от одной теплоты електрическую силу получает. Но особливые к сему надобны средства, и для того не удивительно, что многие говорят, будто от теплоты сера електрической силы иметь не может. В той же был и я погрешности, пока помощию Франклиновой теории не нашел нужных к произведению сего явления обстоятельств. Она меня понуждала думать, что можно одною теплотою сере сообщить електрическую силу, ежели ее поверхность касаться будет плотно до поверхности другого какого-нибудь тела. При чинении опыта поступал я следующим образом: взял я чашку и притом весь прибор, выше сего описанный, в чашке наделал ямки, чтоб она более разнствовала от сферической фигуры. Сие учинено мною на тот конец, чтоб сера в одном только положении с чашкою сходствовала и чтоб ей прежнее положение совершенно дать можно было.

После того налил в чашку растопленную серу и к застылой уже приклеил руковятку, потом отделил серу от чашки и лишил как серу, так и чашку совсем електрической силы. Тогда, нагревши серу, положил на чашку и приметил, что спустя десять часов сера имела отрицательную, а чашка положительную електрическую силу.

g См. Опыты и наблюдения об електрической силе, часть 3, письмо I, опыты I, II, III, стр. 4 и 5.

Но не нужно к делу сему так великое приготовление, ибо всегда удобно учинить можно, чтоб какое-нибудь тело обе електрические силы купно производило. Возьми какой-нибудь материи, которая бы сама собою електрическая была, тонкую и невеликую полосу, и оную с одной стороны потри сукном; а к другой, как трение производится, приложи перст. Потом, ежели над сею полосою опыт делать станешь, то увидишь, что обе ее поверхности имеют електрическую силу и одна другой во всем противную.[h]

Теперь остается показать, как еще другим образом то ж самое учинить можно. Надлежит повесить на шелковых нитках или поставить на стекляных подставках какую-нибудь металлическую призму и к одному ее концу должно принесть стеклянную трубку или трением наелектризованный серный цилиндр, и в расстоянии двух или одного дюйма неподвижно держать; тогда увидишь, что все сие тело будет иметь електрическую силу; но притом одна сторона положительную, а другая отрицательную.[i]

Из сего усмотреть можете, почтеннейшие слушатели, что не в одном только случае в наелектризованном теле те же обстоятельства, какие в намагниченном находятся, то есть, что в наелектризованном теле обе електрические, так как и в намагниченных обе магнитные, силы примечаются.[k] И по-

[h] Сие явление сперва усмотрел я в турмалине. А когда рассуждал о причине оного, то видел, что оно не одному турмалину прилично, но подобному должно быть и во всяком електрическом теле, в чем я и не обманулся. Ибо к произведению сего явления ничего не требовалось, как чтоб употреблять тоненькую и маленькую полоску, которую бы пальцем закрыть можно было. Удивительно, что г-н Дю-Фей сего не приметил, когда чинил електрические опыты над стеклом и серою, может быть для того, что не употреблял при своих опытах маленьких и тоненьких полосок.

[i] И сие явление первый Франклин приметил. См.: Philosophical Transaction, кн. XLIX, часть 1, стр. 300 и сл.

[k] Я рассуждаю здесь только про те случаи, когда в одном и том же теле обе електрические силы примечаются. А ежели два тела, между собою плотно касающиеся, взять за одно, то можно представить бесчис-

сему на твердом еще основании стоит предлагаемое мною сходство, которое находится и во всех других явлениях, которые магнит произвесть может.

Всем известно, что магнит удивительною щедростию особливо знатен и что магнитную силу железным телам сообщает без всякого ущербу сил своих. Ибо магнит хотя бесчисленному множеству железных кусков свою сообщит силу, однако ж никогда еще не примечено, чтоб он сколько-нибудь силы своей потерял.

ленное множество подобных примеров. Из Франклиновой теории явствует, что не можно никогда сообщить никакому телу електрической силы без того, чтоб или в том же, или в другом каком не произвесть противной, потому что не можно в одном теле умножить натуральное количество електрической материи без того, чтоб не уменьшить в другом, и обратно. Мне кажется, что с сим правилом все явления совершенно сходствуют, каким бы образом електрическая сила ни произведена была.

1) Ибо ежели два тела взаимно одно о другое тереть станешь, то одно из них положительную, а другое отрицательную електрическую получит силу. И, кроме одного случая, нет никакого изъятия из сего правила, а именно: когда оба тела не будут сами собою електрические, например, ежели употреблены будут две металлические полоски, то или никакой силы произвесть не можно, или хотя произведена будет, однако ж в мгновение ока исчезнет. Опричь сего случая ни один из правила не выключается. Но хотя тела, что невероятно показаться может, и были бы оба сами собою електрические, но притом одного роду, одинакой величины, фигуры и сколько возможно между собою сходные, то електрическая сила всегда и очень чувствительная производится. Но чтоб кто, делая сам опыты и видя с моими несходство, не подумал, что они ложны. К чинению их требуется некоторое искусство и особливые правила, чтоб получить желаемое окончание. Но понеже сие не принадлежит к моему намерению, оные в другом месте описать постараюсь.

2) Ежели растопленною серою или смолою какою-нибудь произведешь електрическую силу, то всегда чашка или блюдцо, в которое вольешь, получит противную сере електрическую силу.

3) Ежели только теплом произведешь в турмалине или в сере електрическую силу, то всегда вдруг обе електрические силы рождаются. При сем особливо примечать надлежит, что в турмалине один бок положительную, а другой отрицательную електрическую силу получает, чего в сере не бывает, но в теле, на котором сера лежать будет, противной силы искать должно.

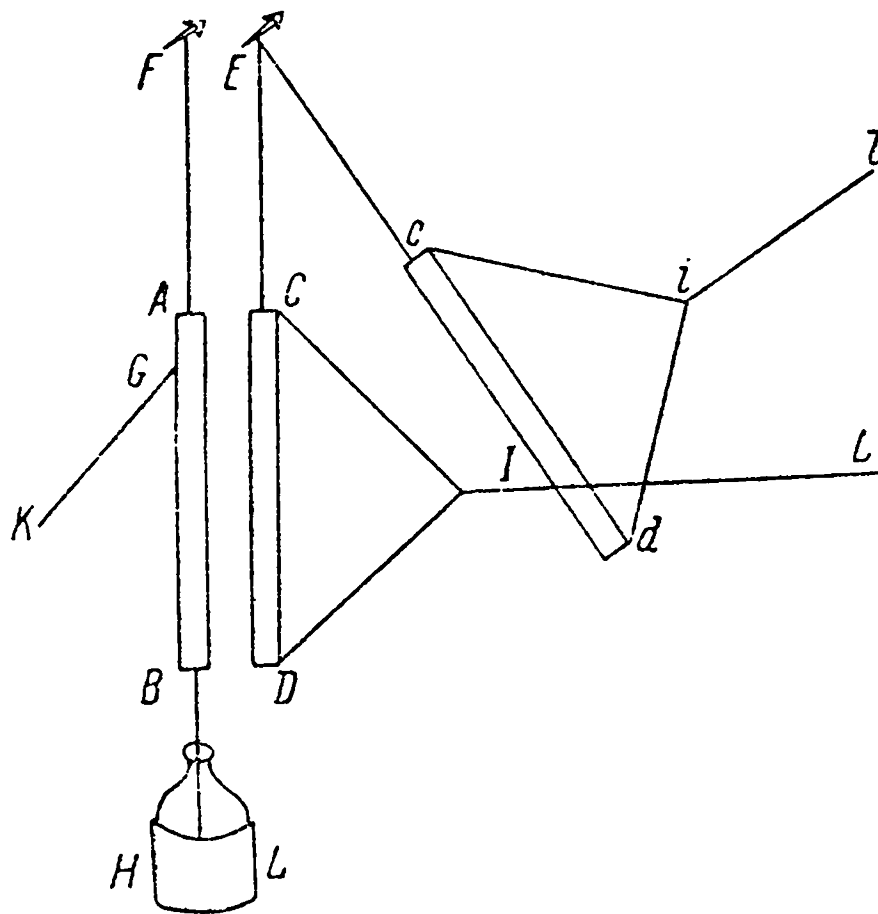
Чтоб сие яснее показать, то представим себе, что к одному магнитному полюсу приложен железный прут так, чтоб он до магнита не прикасался. Не безызвестно, что сей прут тотчас некоторую и по прошествии времени нарочито чувствительную магнитную силу получает, но кажется, что в сем случае магнит на чужое расточителен бывает, сообщая то, чего сам не имеет, ибо находящийся близ магнитного полюса конец всегда магнитную силу получает, противную той, которую имеет оный полюс, а дальнейшему концу сообщает такую силу, какую сам имеет.

Теперь рассмотрим, какие действия електрическая сила в подобных обстоятельствах производит. Представим себе, что к концу какого-нибудь металлического прута, лежащего на стекляных подставках, поднесено наелектризованное тело так, чтоб оное до прута не касалось, но в некотором бы близком от оного расстоянии находилось. В сем случае несумненные опыты нас уверяют, что как магнит в железе магнитную силу, так равномерно и наелектризованное тело в близлежащем железном пруте електрическую производит, и в произведении совсем те же наблюдает законы, коим магнит повинуется. Ибо ближний к наелектризованному телу конец металлического прута противную, а дальний такую же получает електрическую силу, какую имеет наелектризованное тело. Итак, ежели к пруту поднесешь стекляную трубку, которой трением сообщена положительная електрическая сила, то обращенный к трубке конец прута отрицательную, а другой положительную получает електрическую силу. Противное сему примечается, ежели вместо стекляной трубки употреблен будет вылитый из серы цилиндр, потому что такой цилиндр от трения получает отрицательную електрическую силу. Сверх сего в сем случае такое сходство в явлениях бывает, что и здесь то ж самое видим, чему в магните испытатели натуры так много удивлялись. Ибо как самые опыты,[1] так

[1] Опыт способно следующим образом сделать можно (фиг. II): на шелковой веревочке AF повесь дощечку AB поверхностью в несколько

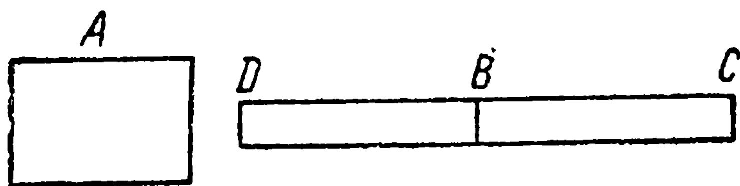
и теоретические рассуждения[m] явственно подтверждают, что сообщающее електрическую силу тело сил своих нисколько не теряет.

квадратных футов, и ее обложи металлическими листочками; притом соедини ее с маленьким Мушенброковым сосудом. Сверх сего привесь на дощечке льняную нитку GK, которая бы вместо указателя служить могла, потом возле дощечки AB повесь другую ей равную и подобную CD таким же образом на шелковой веревочке CE так, чтоб помощию шелковой веревочки $CIDL$ ее можно было к прежней придвинуть или отодвинуть. Отделивши дощечку CD подалее от первой, сообщи дощечке AB обыкновенным образом електрическую силу, тогда нитка GK отогнана будет от дощечки; заметь величину угла KGB, до которого нитка подымется, и потом придвинь дощечку CD к дощечке AB на несколько дюймов. Тогда увидишь, что нитка GK опустится маленько, а дощечка CD будет иметь електрическую силу. Тогда дощечку CD опять от дощечки AB далее отодвинь, то нитка GK почти до прежней вышины подымется, а дощечка CD и лишится електрической силы.



Фиг. II.

[m] Ибо сообщение електрической силы, которое делается показанным образом, есть действие взаимного отгонения частиц електрической жидкой материи, ниже́ зависит от действительного прехождения из одного тела в другое (фиг. III). Ежели тело A будет иметь положительную електрическую силу, то изобилующая в нем материя, производя обыкновенное материи, в теле DC находящейся, отгонение, принудит оную, чтоб из стороны DB в дальнейшую BC удалилась. А ежели тело A будет иметь отрицательную електрическую силу, то от недостатку натурального електрической ма-



Фиг. III.

Но хотя показанные мною действия електрической и магнитной силы весьма между собою сходствуют, однако ж признаюсь, что ежели наблюдаемый в чинении сего опыта образ немного переменен будет, то в явлениях такое различие найдется, что неосторожно рассуждающего в такую погрешность привесть может, что принужден будет заключить, что нет никакого сходства или подобия между причинами, коих посредством натура магнитную и електрическую силу производит. Приложи как железный прут к магнитному полюсу, так и металлический, стоящий на стекляных подставках, к наелектризованному телу так, чтоб беспосредственно взаимно между собою касались, то увидишь, что магнит тот же, как и в прежнем случае, закон наблюдает, потому что касающийся до магнитного полюса конец железного прута противную приложенному полюсу получает силу. А електризуемый прут во всей своей долготе получает одинакую и такую же електрическую силу, какую касающееся до него тело имеет.

Для решения происшедшего отсюду сумнения, почтенные слышатели, принужден я вкратце предложить теорию електрической силы, изобретателем Франклином в свет публикованную, которая тем наипаче похвалы достойна, что по ней все електрические явления изъяснить можно.

Между физиками вкоренилось было сие несправедливое мнение, будто те только тела, которые свойственно или сами собою електрическими обыкновенно называются, електрическую материю в себе содержат, а те, кои сами собою електрическими не называются, тогда только електрическую материю получают, когда им от какого-нибудь свойственно

терии количества производимое частицами тела *A* притягание переможет и, притягивая к себе из части *BC*, ее сделает пустою. В обоих случаях в теле *A* количество електрической материи ни прибавляется, ни убавляется, но совсем тое ж сохраняется, и для того сообщением електрической силы телу *DC* ничего не теряется, и тело *A* силу, которую имеет, невредиму сохраняет.

електрического тела сообщена будет. Г. Франклин исправил сию погрешность и показал, что по всему земному кругу електрическая материя и по всем телам равномерно разделена, что вода или металлы в своем натуральном состоянии не меньше материи оной в себе содержат, как в стекле, в сере и в скважинах других свойственно електрических тел заключается. Следовательно, различие в телах первоначальной и производной електрической силы, которое опыты показывают, от другого обстоятельства производить должно. Господин Франклин нам открыл, что различие оттого происходит, что жидкая електрическая материя в телах свойственно електрических не свободно, а в прочих весьма свободно движется.[n]

Из сего удобно можно заключить, что может быть, и как искусством изведано, что действительно есть в рассуждении сего некоторое аки степенное в телах различие. Ибо находящаяся в различных телах жидкая електрическая материя чем больше или меньше способности имеет в прехождении из одной скважины в другую, тем их меньше или больше електрическими именовать должно. Таким образом само собою совершенно неелектрическое тело будет, в которого скважинах жидкая електрическая материя весьма свободно и без малейшего препятствия движется; а совершенно само собою електрическое будет, в коем непреодолимое движению сему препятствие находится, и в скважинах его електрическая материя почти совсем неподвижна пребывает.

Отсюда легко усмотреть можно, что ежели бы было совершенно или в самом высочайшем градусе само собою електрическое тело, то бы невозможно было, чтоб в нем електрическая материя из одной части в другую или из оного в другое с ним смежное тело, или из смежного в него переходила. Итак, ежели б находилось в высочайшей степени само собою електрическое тело, то б, без сомнения, из него, хотя бы оно електрической материи и великое изобилие

[n] См. опыты и наблюдения об електрической силе, часть II, письмо VI, стр. 95 и сл.

имело, в другое смежное с ним материи переходить не можно было, ниже́ б из смежного в електрическое, в случае недостатку, переселяться. Из сего явствует, что ежели б стекло в высочайшей степени само собою електрическое тело было, то б оное смежному с ним металлическому телу не сообщало своей положительной, ниже́ б сера, ежели б она была в высочайшем градусе сама собою електрическая, уделяла своей отрицательной електрической силы.[o]

И посему не должно думать, что в сем случае електрические явления магнитным совсем противны. Ибо причины, для чего здесь, как в других случаях, совершенного сходства не находится, надлежит искать не в свойстве електрической силы, но в постороннем обстоятельстве, что между известными нам телами совершенно електрических тел не находится. Итак, ежели б можно было над телами, в высочайшем некоем градусе електрическими, делать опыты, то б без сомнения совсем такие ж явления увидели, какие в магните примечаются, потому что такие тела смежному с ними телу собственной своей електрической силы сообщить не могут. Ибо известно, что как бы наелектризованное тело и металлический прут ни близко между собою находились, лишь бы только действительное прохождение електрической материи из одного тела в другое воспящено было, однако ж в опыте всегда те же явления примечаются, какие в большем тел расстоянии обыкновенно бывают.[p]

---

[o] Сии рассуждения довольно опытами подтверждаются. Сделай пендул из шелковинки, с привешенным маленьким пробочным шариком. Ежели его принесешь к металлическому телу, хотя мало наелектризованному, то будет притянут и в то самое время, как до металла прикоснется, отскочит. А ежели к сере, хотя сильно наелектризованной, принесешь, то увидишь, что пендул сильно притягиван будет, но прежде, нежели отогнан будет, чрез долгое время с серою соединен бывает. И понеже совершенно известно, что тела одинакого рода и равную електрическую силу имеющие друг друга отгоняют, то сие явно показывает, что металл скоряе сообщает пендулу свою силу, нежели сера.

[p] Ибо стекло, как бы тонко ни было, которое между телами, чтоб

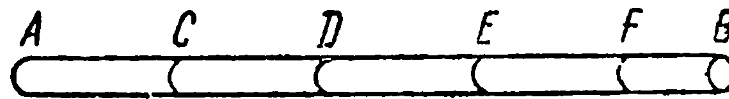
И посему на твердом еще и непоколебимом стоит основании магнитной и електрической силы сходство, которое колебаться было начинало. Но рассмотрим оное еще обстоятельнее.

Выше сего полагал я, что когда магнит железному пруту сообщает силу свою, то будто прут всегда только два полюса получает и одному его концу северная, а другому южная магнитная сила сообщается. И подлинно дело сие действительно так обстоит, только бы прут надлежащую длину имел. А ежели оный будет длинняе, то не только два, но многие полюсы обыкновенно получает. Ибо в таком долгом пруте, ежели один конец будет иметь северную магнитную силу, то от того конца до другого усмотреть можно сперва южный полюс, потом северный, после того паки южный и паки северный и так далее. Таким образом многие полюсы друг за другом последуют и по всей длине прута один за другим всегда по переменам находятся.

Хотел я исследовать, то ж ли самое бывает в явлениях електрических, и увидел, что окончание опыта с надеждою моею точно сходствовало. Ибо известным образом делая опыт, до того дошел, что стекляной или серный цилиндр по длине своей имел больше двух (ежели так сказать можно) електрических полюсов, кои, равно как в магнитном пруте, друг за другом по переменам следовали, так что один положительную, а другой отрицательную електрическую силу показывал.[q]

електрическая материя из одного в другое не переходила, поставляется, всегда великое препятствие делает, как опыты показывают.

[q] Хрустальную трубку AB (фиг. IV) несколько футов длиною на стол так положил, чтоб часть ее длиною с фут с половиною на столе не лежала. Потом, взяв другую трубку, трением сообщил ей електрическую силу и оную несколько раз по концу A водил так, как делается, когда висящему на шелке какому-нибудь телу помощию трубки електрическую силу сообщить хотим. Как сие



Фиг. IV.

Хотя показанные мною магнитные свойства и весьма удивительны, однако ж не меньшего удивления и внимания достойно оное в магните преимущество, от которого великая часть благополучия человеческого рода и выгодность, которою пользуемся, зависит. Свойство, о котором упоминаю, состоит в том, что неробкому плавателю по неизмеримому морю магнитная сила путь показует, когда один конец магнита или намагниченной стрелки, около известной точки во все стороны свободно движущейся, почти точно северный, а другой южный полюс земного круга показывает. Но прежде сравнения между магнитными електрическими явлениями в рассуждении сего свойства надлежит показать, что по сие время искуснейшими физиками изобретено о управляющей магнитной силе.

Представьте себе, что магнит или магнитная стрелка, во все стороны свободно движущаяся, находится в близости некоего большого и неподвижного магнита. И понеже одинакие и сходственную силу имеющие магнитные полюсы друг друга отгоняют, а различные или неодинакие взаимно себя притягивают, то сами можете уразуметь, что магнит или объявленная магнитная стрелка, будучи в средине обращающегося вихря другого магнита, должна будеть иметь некоторое известное положение. В сем случае вообще легко рассудить можно, что стрелка всегда в таком положении находиться будет, чтоб неодинакие или различную магнитную силу имеющие полюсы один другому соответствовали. И по положению стрелки в рассуждении полюсов неподвижного магнита иногда параллельна быть должна с магнитною осью, а иногда большее или меньшее к ней наклонение иметь,

---

действие несколько раз повторено было, то нашел я, что конец *AC* на несколько футов имел положительную силу, а когда далее подвигался к концу *B*, то увидел, что трубка чрез расстояние *AD* отрицательную, а чрез расстояние *DE* положительную, потом опять чрез *EF* отрицательную електрическую силу имела. То ж самое приметил и в серной трубке в несколько футов длиною.

потому что стрелка всегда в таком положении находиться должна, в котором бы действие на магнитную стрелку притягивающих и отгоняющих сил было в равновесии. Отсюду явственно видите, каким порядком переменяться должны положения магнитной стрелки, которая около неподвижного магнита обводится.

По наблюдениям мореплавателей особливо известно, что магнитная стрелка, будучи на различных местах земной поверхности, различные положения показывает, а сии различные положения весьма сходствуют с теми, которые стрелка обыкновенно наблюдает, когда около магнита обводится. По моему мнению, испытатели натуры весьма вероятно отсюду заключают, что земной шар одарен магнитною силою, так что оной за великий, но слабый магнит по справедливости почитать должно.

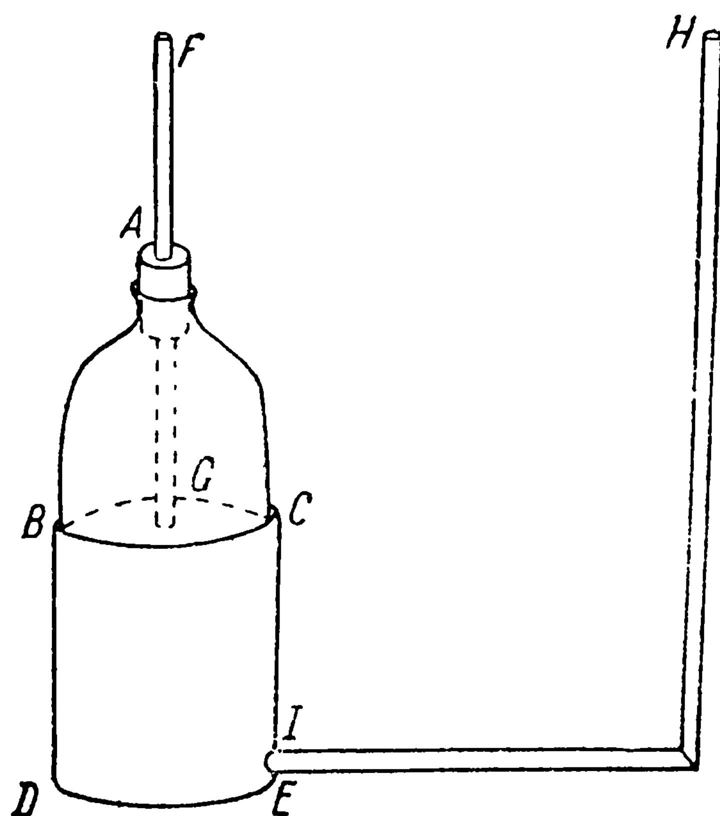
Видите, что явление управляющей магнитной силы есть производное и совсем не зависит от притягающей и отгоняющей. Посему, ежели надобно делать сравнение между управляющею електрическою и магнитною силою, то дабы обстоятельства во всем сходственны были, должны мы себе вообразить, что електрическое тело находится в вихре другого електрического тела, и потом исследовать, какие в нем в рассуждении положения перемены последуют.

Из сего довольно явствует, что ежели тело, при таких обстоятельствах с одного конца положительную, а с другого отрицательную електрическую силу имеющее и около некоей точки во все стороны весьма свободно движущееся, приближится к другому неподвижному, имеющему, как бы сказать, електрические полюсы, то перемены в положении тела будут совсем сходствовать с теми, которые в магнитной стрелке примечаются. Ибо законы, по которым електрическое притягание и отгонение производится, весьма сходствуют с законами, в магните видимыми; а одинакие причины разных явлений производить не могут.[г]

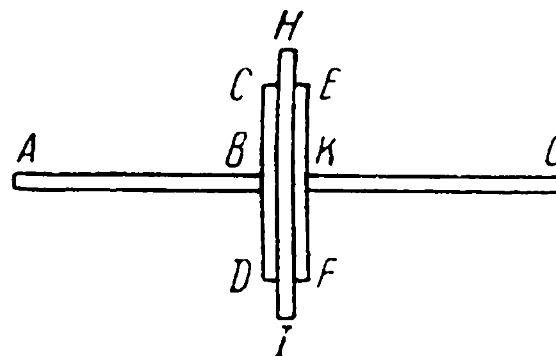
[г] Ежели кто хочет делать о сей материи опыты, то должно поступать следующим образом:

Кроме сей управляющей магнитной силы, бывают и другие явления, кои оттуда происходят, что железо и другие

Надлежит тонкий хрустальный сосуд *ADE* (фиг. V), который бы был побольше, налить до половины водою и внешную его поверхность настолько ж обложить металлическими листами. В горло *A* надлежит поставить железный прут *FG* толщиною с гусиное перо, а с вне приставить подобный кривой прут *IH*. Потом обыкновенным образом сосуду сообщи електрическую силу и поставь на хрустальную подставку, тогда прут *FG* будет иметь положительную, а *HI* отрицательную електрическую силу. После того возьми квадратное зеркальное стекло, в поверхности около четырех квадратных футов имеющее, и к нему с обеих сторон приклей по тоненькой металлической квадратной дощечке *CD* и *EF* (фиг. VI), которых бы бок около фута меньше был зеркального стекла. Ко всякой дощечке приделай по тоненькому металлическому пруту *AB* и *KG*, потом всю машину на шелковых нитках повесь так, чтоб на горизонтальной плоскости обращаться могла. Наелектризуй прут *FG* обыкновенным образом, и когда сие делаешь, прикасайся пальцами к другому пруту *AB*. Тогда машина, подобно как наелектризованный лейденский сосуд, и прут *FG* будут иметь положительную, а прут *AB* отрицательную електрическую силу. И ежели к машине поднесешь хрустальный сосуд, то машина по различному положению хрустального сосуда различные положения иметь будет, и перемены в положении совсем подобны будут тем, которые имеет магнитная стрелка, когда неподалеку от нее неподвижный магнит находится



Фиг. V.



Фиг. VI.

на земном шаре находящиеся тела всегда в магнитном вихре погружены бывают. Кажется, что иногда железо само собою получает магнитную силу. Потому что железный прут, в северных странах так поставленный, чтоб один его конец был ниже и к горизонту ближе в рассуждении другого, нарочито великую магнитную силу получает, хотя и не видно никакой явственной причины сего действия. Нижний его конец отгоняет от себя северный, а верхний — южный полюс стрелки магнитной; и из наблюдений мореплавателей видно, что противное сему делается в странах, к южному полюсу земного круга лежащих.[s]

То есть вообще здесь наблюдается следующий закон: конец железного прута, обороченный к которому-нибудь полюсу земного шара, получает противную той силу, которую сам полюс имеет.

Но в сем не иное что видим, как то ж самое явление, о котором уже упомянуто выше сего, где рассуждал я о сообщении магнитной силы и показал, что одним приближением железа к магниту в нем магнитную силу произвесть можно. Потому что вместо употребляемого тогда магнита служит шар земной, поколику оный за точный магнит почитается. В прочем по таком изъяснении о сходстве електрических и магнитных явлений больше не сомневаться можно. Хотя магнитная сила, которая предписанным образом производится, недолго продолжается, но тотчас, ежели положение прута переменишь, исчезает, и ежели нижний конец поставить кверху, противную получаешь силу. Однако ж и таким образом сообщенная сила бывает долговременна, ежели прут или чрез долгое время прямо стоять, или раскален будучи, в сем положении простывать, или, наконец, так поставлен будет, чтоб в малейших его частицах произвесть можно было

[s] См. Мушенброкову диссертацию о магните, которая находится между диссертациями физическими и геометрическими, гл. 5, стр. 262 и следующие, явление сие совсем противно магнитной теории г. Дю-Фей.

внутреннее движение, несмотря на то, каким бы образом прут потрясаем ни был. Теперь я не говорю, что производит здесь время или раскаление и потом последующее прохлаждение или жестокое потрясение, но ради того о последнем обстоятельстве особливо упомянул, чтоб остеречь вас от некоторой погрешности, в которую здесь легко впасть можно.

Многократно примечено, что молния, касающаяся до магнитной стрелки или до компаса, не только великую в нем перемену производила, но временем и совсем превращала полюсы магнитной стрелки.[t] Г-н Франклин получил отсюда случай произведенную в лейденском стекляном сосуде молнию продолжать по железным прутьям и увидел, что они от того получают нарочито великую магнитную силу. Из сего можно заключать не только о некоем союзе и сходстве магнитной и електрической силы, но и о сокровенном обеих сил точном подобии. Но я таким образом заключать не отважусь, ибо всяк, изведав с болезнию соединенное потрясение от електрической силы, признаться должен, что молния, происходящая из Мушенброкова стекляного сосуда, протрясает внутренние части тела, чрез которое проходит, а железному пруту, в надлежащем положении находящемуся, сообщает всякое потрясение магнитную силу; и посему одно только потрясение в сем случае магнитную силу производит, так что думать должно, что здесь електрическая сила не тем, что она действительно есть, но механическим образом, железо потрясая, действует.

Теперь явственно видите, почтеннейшие слушатели, что в явлениях електрической и магнитной силы совершеннейшее сходство находится. Для чего ж не думать, чтоб обеих сил причины не были подобны? Ибо что вероятнее и что оному обыкновению, которое натура постоянно наблюдает, пристойнее быть может, как что

[t] См.: Philosophical Transactions, № 127, стр. 647; № 157, стр. 520.

она сходственные явления сходственным образом производит?

Чрез долгое время различными мнениями объят я был, когда хотел магнитные явления согласить с причинами, от коих зависят действия електрической силы, и труды мои не были тщетны. Ибо, наконец, нашел я весьма вероятное положение, которое хотя и в надлежащее совершенство мною приведено, однако ж за благо рассуждаю умолчать об оном, дабы вам продолжительным словом не нанесть скуки. Между тем думаю, что не противно будет, ежели вкратце предложу самые начала сей теории.

Г-н Франклин все електрические явления заключил в следующих кратких предложениях, по которым не только все изъяснить, но и верно предсказать можно. Он полагает:

1) что находится тончайшая и весьма упругая жидкая материя, которая все електрические явления производит, частицы ее взаимно одна другую отгоняют, а сама материя от всех по сие время известных нам тел притягивается;

2) что в рассуждении електрической силы находится в телах некоторое различие; то есть иные такое расположение имеют, что електрическая материя в скважинах их с великою трудностию движется, а в других движение весьма удобно производится; что до последнего роду принадлежат те, которые не сами собою или производно електрические; а до первого те, кои сами собою или первоначально електрическими обыкновенно называются.

Я думаю, что причины магнитной и електрической силы совсем сходствуют между собою, и по учинении обстоятельнейшего испытания усмотрел я, что и магнитные явления изъяснить можно, ежели положим:

1) что находится тончайшая магнитная жидкая материя, которой частицы взаимно друг друга отгоняют: а от железных или железу подобных тел притягиваются, прочие ж

тела ни на сию жидкую материю, ни сама материя на оные взаимным притяганием или отгонением не действуют;[w]

2) что жидкая магнитная материя в скважинах железа не только весьма трудно движется, но и, повидимому, труднее, нежели електрическая материя в скважинах собственно електрических тел, что тела, к восприятию магнитной силы способные, не могут сходствовать с так называемыми собственно не електрическими, потому что нет таких тел, в которых бы удобно могла двигаться магнитная материя и на оные действовать. Несмотря на то, кажется, что в действии сем степени находятся; мягкое железо не так препятствует сему движению, как сталь, а сталь тем меньше оному препятствует, чем меньше закалена будет, так что весьма трудному должно быть движению в стали, до высочайшей степени и до самой ломкости закаленной.

Показал я теперь, почтеннейшие слушатели, сходство между електрическою и магнитною силою, и таким образом намерение свое исполнил. Но прежде окончания надлежит

---

[w] Без сомнения, многим будет противно, что я магнитные явления из притягающей и отгоняющей силы изъяснить стараюсь, потому что многие помянутые силы между сокровенными качествами[4] |полагают. Что такие силы в самой натуре есть, то ясно видим, и что всех явлений они суть главными и начальными причинами, хотя начало их нам безызвестно. Я не понимаю, в чем тот погрешает, кто явления из первоначальных сил изъясняет, хотя бы начало их было не известно. Правда, что неосторожные великого Невтона последователи учение его тем попортили, что притягающую и отгоняющую силу за природное телам качество почитают и никакой внешней причины помянутых сил признавать не хотят. Но я не так думаю и охотно признаюсь, что видимые в натуре притягания и отгонения зависят от какой-нибудь внешней причины, а какая бы она была, в том лучше признаться хочу, что мне не известна, нежели неосновательные положения выдумывать. Справедливее физиков поступают в подобном несколько случае геометры. Когда кто решение задачи какой-нибудь, которая зависит от квадратуры круга, до нее доведет, то не говорят, что будто бы решитель мало или ничего не сделал, что не показал самой квадратуры круга.

мысли наши обратить к полезнейшему употреблению, которое нам натуральная философия показует. Ибо, как говорит Сенека, тогда должно благодарить натуре, когда познаем, кто творец и хранитель сея вселенныя, и что есть бог; и что не для чего бы на свете родиться, ежели б мы к познанию сего допущены не были.

Представим себе, как всемогущ и как премудр от всех почитаемый творец сея вселенныя, который неизмеримым своим промыслом избирая немногие и простые средства, бесчисленные и превеликие дела соделовает. Рассуждая о сем, удивляемся не имеющему пределов всемогуществу творца мира и его премудрости в произведении оного. Но ежели сверх сего примем в рассуждение, что благость и милость всевышнего суть единою причиною создания сего ужасного света, чтоб только созданные разумные существа благополучнейшими учинить, то воистину веселием и благодарностию наполненный наш дух к изъявлению достодолжных похвал премилосердому своему создателю не может не стремиться...

МЕМУАР, СОДЕРЖАЩИЙ ТОЧНОЕ ОПИСАНИЕ ОПЫТОВ, ПРОВЕДЕННЫХ С ТУРМАЛИНОМ



RECUEIL
DE
DIFFERENTS MEMOIRES
SUR LA
TOURMALINE

publié par

Mr. FRANC. ULR. THEOD. AEPINUS,
Confeiller des Colleges de Sa Maj. Impériale, Profeffeur en Phyfique de l'Academie Imp. des Sciences à St. Petersbourg, Directeur des Etudes du noble Corps des Cadets, et Membre des Académies de Berlin, de Stockholm et d'Erfurth.



à St. Petersbourg
de l'Imprimerie de l'Académie des Sciences
1762.



В Санкт-Петербурге в августе месяце 1758 г.[1]

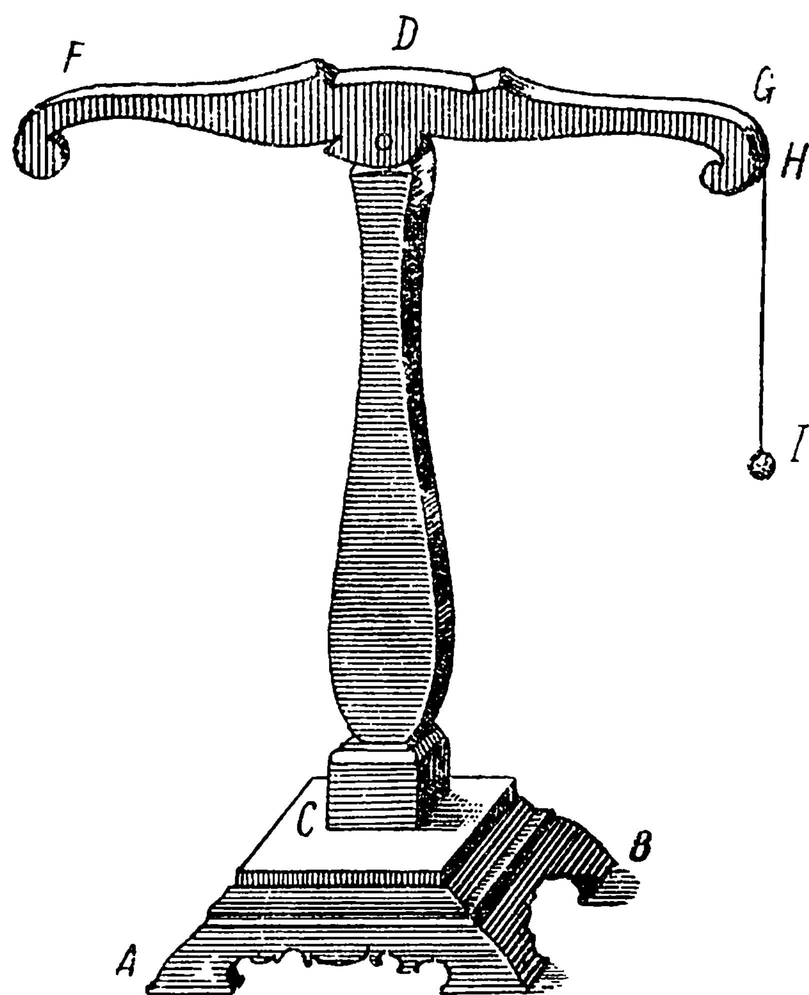
Сообщая в предыдущем рассуждении[2] об удивительных свойствах турмалина, я не имел времени изложить этот предмет настолько обстоятельно, насколько он того заслуживает. Я просто сослался на последствия и заключения, вытекающие из моих опытов, не уточняя их и не давая их точного описания. Я признаю необходимость этого и попытаюсь выполнить это сейчас. Турмалин есть камень редкий и малоизвестный, поэтому возможность производить над ним опыты представляется не без затруднений. Опыты, посредством которых я открыл свойства турмалина, требуют определенных способов, которые не сразу даются. Сами эти свойства, впрочем, столь удивительны, что на слово мне поверили бы лишь с трудом.

Итак, эти причины побуждают меня поделиться с публикой точным описанием моих опытов, дабы любитель физики смог лично судить об истинности или необоснованности моих предыдущих утверждений на случай, если бы он имел средства или возможность повторить мои эксперименты.

После представления моего первого рассуждения я нашел небольшое число авторов, упоминающих о турмалине, однако то, что они говорят о нем, столь неопределенно и малосущественно, что почти бесполезно их приводить. Некоторые из них утверждают, напр., что турмалин — это род янтаря. Его твердость, особая присущая ему тяжесть и устойчивость

по отношению к огню доказывает неопровержимо, что следует его поместить в разряд драгоценных камней.

Он был известен еще знаменитому Лемери, который делал с ним эксперименты.[3] Читая Histoire de l'Academie Royale des Sciences за 1717 г., можно без труда признать, что цейлонский магнит г-на Лемери это не что иное, как мой турмалин. Те, однако, кто прочтет этот отрывок о названном камне, заметят, что высказывание Лемери о нем далеко не полно. Повидимому, даже, он забывает о самом примечательном свойстве турмалина, что следует разогреть его, дабы он оказал свое действие.



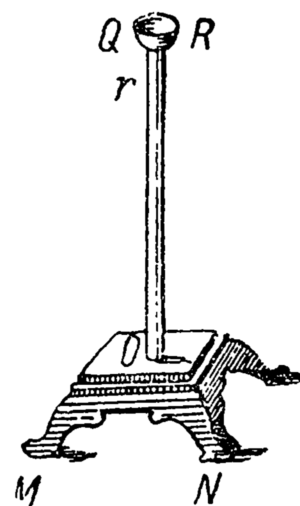
Фиг. I.

Я пользовался для своих опытов некоторыми приборами, которые необходимо точно описать. Таким образом, мои читатели сумеют составить себе более ясное представление о способе, коим я действовал, и я, поэтому, в изложении его смогу быть более краток.

Первый из этих приборов представлен на фиг. I.

На квадратной подставке *AB* я укрепил стержень *CD*, около фута высотой. Стержень имел сверху, около *D*, шарнир, с помощью которого равноплечий рычаг *FG* получал некоторую подвижность. Каждое плечо рычага *FD* и *DG* было длиной около 7 дюймов. Я применил это приспособление, дабы удобно подвесить маятник *HI*. Рычаг *FG* был несколько подвижен, дабы по мере надобности немного поднимать и опускать маятник. Чтобы сделать маятник, я взял нитку

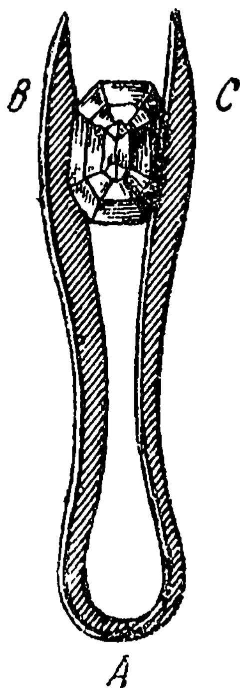
шелка-сырца и снизу прикрепил к ней кусочек закругленной пробковой коры величиной с чечевицу. Длина волокна *HI* была от 5 до 6 дюймов. Я прикрепил маятник кусочком воска к одному из плеч рычага *FG*.



Фиг. II.

На другой небольшой квадратной подставке *MN*, представленной на фиг. II, я поместил в середине тонкую стеклянную трубочку *Or*, примерно 6 дюймов длины, верх которой заканчивался полушарием *QR*, диаметром около 2 линий. Такую трубочку весьма легко сделать, выдувая стеклянный шарик, как для термометров, и разбивая этот шарик до половины. В своих опытах я пользуюсь этим прибором, чтобы поместить на него турмалин, дабы он мог свободно себя проявлять.

Кроме того, я употребляю небольшие щипчики *ABC*, чтобы не касаться турмалина пальцами, и беру его всегда с боков, как это показано на фиг. III, дабы камня возможно меньше касались тела неэлектрические. Кроме того, нужно наготове иметь стеклянную трубку и палочку испанского воска, чтобы возможно было рассмотреть — способом, который мы опишем ниже — какой род электричества производит турмалин.



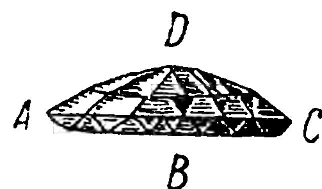
Фиг. III.

Когда производишь эти эксперименты, необходимо следить, чтобы шелковая нить, о которой я уже говорил, была абсолютно сухой; вот почему никогда не следует производить этот опыт в сырую погоду. В случае, если опыты производятся ночью, надо, сверх того, опасаться приближать к турмалину зажженную свечу, ибо ее атмосфера чувствительно ослабляет электричество даже на расстоянии 2 футов. Вобщем, эти крайне тонкие опыты предпочтительнее делать днем, чем ночью. В процессе их надо время от времени увлажнять пробковый шарик, привязанный к маятнику, так

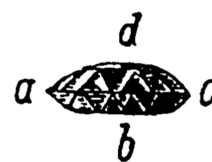
как он легче воспринимает электричество, которое передается ему турмалином, — как это мы увидим далее — в то время как он немного влажен, нежели когда он совсем сух.

Оба турмалина, кои я употреблял, не суть необработанные камни, но уже отшлифованные, как и прочие драгоценные камни, предназначенные для оправы.

Оба они имеют форму почти эллиптическую, и фиг. IV и V позволяют рассмотреть величину и форму каждого



Фиг. IV.



Фиг. V.

из них. Я обозначу через B плоскую сторону большего камня ABC, через b — сторону меньшего, напротив, через D — высокую и отшлифованную в виде граней сторону большего, а через d — меньшего.

Расположив все по способу, описанному выше, я проделал следующие опыты.

Опыт 1

Я начал с того, что поместил турмалин на раскаленный уголь, на котором было немного золы. Оставив его на некоторое время там, чтобы согреть немного, я заметил, что он притягивает золу, рассыпанную вокруг, а немного спустя отталкивает ее. Это попеременное притяжение и отталкивание длилось без перерыва все время, пока камень находился на угле.

Замечание

Этот опыт был известен ювелирам с относительно давних времен и дал камню название — притягатель золы. Однако, поскольку опыт сводился к тому, что лишь дал

мне возможность убедиться в существовании силы, какую этот камень имеет привлекать золу, я счел необходимым пойти далее.

Опыт II

После того как турмалин был нагрет на раскаленном угле, я извлек его оттуда с помощью щипчиков, упомянутых выше, и стал приближать к различного рода легковесным телам, рассыпанным на дощечке. Я заметил, что он действует одинаково на все, притягивая и отталкивая. Я проделал этот опыт с перышками, клочками бумаги, золотыми блестками, соломинками, металлическими землями и множеством других тел и всюду наблюдал тот же результат.

Замечание

Этот опыт подтвердил мое первоначальное положение о том, что действие турмалина происходит от электричества. Ибо притягательное и отталкивающее свойство этого камня не ограничивается одной лишь золой, но распространяется, подобно электричеству, на различные тела.

Это открытие, однако, меня не удовлетворило, и я решил произвести также и другие изыскания, дабы совершенно убедиться в реальности своих предположений.

Опыт III

Способом, описанным выше, я взял больший из турмалинов и опустил его на несколько минут в кипящую воду. После извлечения его оттуда я поместил на подставку (фиг. II) таким образом, чтобы его сторона B была сверху, и стал приближать его к маятнику, который начал опускать до тех пор, пока он не коснулся поверхности B.

Тогда я заметил следующее явление:

1) маятник был притянут камнем, но отклонился, едва коснувшись поверхности B;

2) когда я после этого приблизил камень к маятнику, он им отталкивался;

3) я потер стеклянную трубку и, приблизив ее к маятнику, увидел, что она с силой его притягивает;

4) однако когда я воспользовался вместо стеклянной трубки палочкой испанского воска, маятник отклонился от нее и ею отталкивался.

Замечание

Этот опыт почти не оставляет сомнения в том, что притягательная и отталкивающая способность турмалина происходит от электричества. Мало того, что маятник притягивается вначале, а затем отталкивается турмалином, и, прикоснувшись к нему, непрерывно за ним следует, как это происходит в опытах с электричеством, но, кроме того, маятник, отталкиваемый турмалином, отталкивается и палочкой испанского воска, как это наблюдается при передаче ей смоляного электричества г-на Дю-Фэ или отрицательного электричества г-на Франклина.

Опыт IV

В этом опыте я действовал точно так же, как в предыдущем, с той разницей, что прежде, чем приблизить турмалин к маятнику, я сообщил ему предварительно отрицательное электричество при помощи палочки испанского воска.

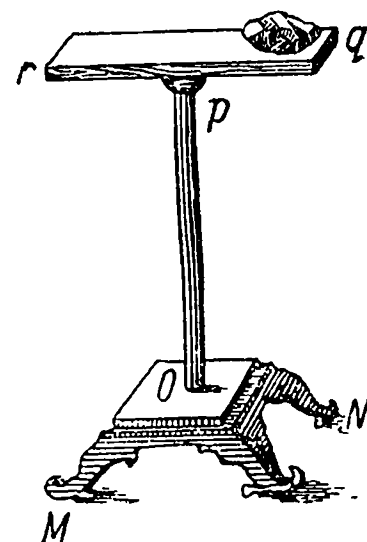
Когда я после этого приблизил турмалин к наэлектризованному маятнику, он не только не притянул, но сразу же оттолкнул его.

Замечание

Следовательно, результат здесь тот же, как когда сторона *B* турмалина находится под действием отрицательного электричества. В этом случае ей следует отталкивать отрицательный электрический маятник, как это и произошло.

Опыт V

Я положил на подставку, о которой уже говорилось, латунную пластинку *qr* (фиг. VI), 3 дюймов длины и около полудюйма ширины. Разогрев затем по указанному способу турмалин, я поместил его на пластине вблизи *q* таким образом, чтобы сторона камня *B* была снизу и касалась пластины. После чего я приблизил маятник к другому краю пластины на расстоянии около полудюйма; тогда произошло следующее:



Фиг. VI.

1) маятник был притянут пластиной немедля, а затем оттолкнут ею;

2) когда я приблизил затем натертую стеклянную трубку, маятник был притянут, но палочка испанского воска его оттолкнула;

3) когда я предварительно, с помощью испанского воска, сообщил маятнику отрицательное электричество, пластина уже более его не притягивала, но неизменно отталкивала;

4) все это происходило таким же образом и после того, как я более не оставлял турмалин на пластинке, но, положив его туда на некоторое время, сбрасывал при помощи стеклянной трубки.

Замечание

Турмалин схож, следовательно, с электрическими телами также и тем, что он сообщает, как они, телам, коих касается, свою притягивающую и отталкивающую способность.

Опыт VI

Я разогрел турмалин на куске изрядно горячего металла в темной комнате, где я находился некоторое время. Я прикоснулся к поверхности концом пальца и, прикоснувшись,

увидел бледный свет, который, казалось, исходил из пальца и расстилался по поверхности. Одним словом, явление было схоже с тем, что происходит, когда прикоснешься пальцем во тьме к куску стекла, янтаря или испанского воска, предварительно его натерев.

Замечание

Способность электрических тел возбуждать свет путем прикосновения к телам неэлектрическим свойственна, следовательно, и турмалину.

Опыт VII

В предыдущих опытах я рассматривал явления лишь с *B* стороны турмалина; мне оставалось, следовательно, повторить их со стороны *D*. Проделав их, я нашел почти во всех отношениях те же явления. После того как камень был разогрет в кипящей воде, сторона *D* выказывала, как ранее и сторона *B*, способность притяжения и отталкивания, и подчинялась в этих явлениях точно тем же законам, что и сторона *B*, с той лишь весьма примечательной разницей, что сторона *D* была не отрицательно-электрической, подобно стороне *B*, но создавала электричество положительное.

Замечание

Детальное описание этих опытов было бы бесполезно, тем более, что пришлось бы повторять еще раз почти все, что я говорил. Достаточно заметить, что при этих опытах результат не отличается ничем от предыдущего, при условии пользования стеклянной трубкой в тех случаях, где раньше употреблялась палочка испанского воска, и наоборот. Если припомнить теперь правила, открытые г-ном Дю-Фэ, о том, что тела, обладающие электричеством одного вида, отталкиваются, а те, которые обладают электричеством разного

вида, притягиваются, легко увидеть, что нужно приписать стороне *B* турмалина — отрицательное электричество, а стороне *A* — положительное. В предыдущих опытах я пользовался для разогревания турмалина только горячей водой, однако, я не преминул впоследствии использовать также и иные жидкие материи, напр. масло, спирт, ртуть и т. д., и результат оставался неизменным.

Если собрать теперь эти опыты и сгруппировать их результаты, то можно будет без затруднений принять за основное правило, что турмалин, путем нагревания, становится поистине электрическим.[4] Действительно, после подогрева он действует, притягивая, а равно и отталкивая электрические тела. Он сообщает, подобно им, свою способность другим телам, к коим прикасается; наконец, он не только подобен во всем другим электрическим телам, притягивая и отталкивая, как они, но также тем, что прикосновением к неэлектрическому телу он, как и они, производит свет. Если, однако, рассмотреть вид электричества, создаваемый турмалином посредством нагревания, то будет ясно из опытов, до сих пор проделанных, что оно неоднородно на обеих сторонах. Турмалин получает, очевидно, оба электричества в один и тот же момент, и в предыдущих опытах плоская сторона *B* большого турмалина становилась неизменно отрицательно-, а выпуклая сторона *D* — положительно-электрической.

Опыт VIII

Все предшествующие опыты, которые я проделал с бóльшим турмалином, я повторил на меньшем. Результат был одинаковый почти во всех отношениях, с той разницей, что плоская сторона *b* меньшего турмалина была не положительно-электрической, подобно плоской стороне *B* большего, но скорее отрицательно-электрической, выпуклая сторона *d* была не отрицательно-электрической, как выпуклая сторона *D*, но положительно-электрической.

Замечание

Разница, наблюдаемая между обоими турмалинами, весьма примечательна. Так как оба неизменно следуют тому правилу, что путем нагревания одна сторона камня получает электричество, противоположное электричеству другой стороны, то должна быть причина, почему определенная сторона всегда и без исключения положительно-электрическая, а другая — отрицательно. Можно было бы думать, что причина заключается во внешней форме каждой из сторон, и как раз это я и предположил вначале. Но форма обоих моих камней совершенно одинакова, и, несмотря на это, схожие стороны производят совершенно различное электричество; стороны не схожие, напротив, обладают постоянно одинаковым электричеством. Причина эта, следовательно, не зиждется на внешней форме каждой из сторон, но на внутренней структуре и расположении самого камня. Это тем более удивительно, что наилучшее зрение не только не сможет открыть в нем какого-либо различия, но, напротив, установит, что камень совершенно однороден в своей субстанции.

Не менее достойно удивления, что во всех этих опытах турмалин становится электрическим, будучи погружен в воду, хотя известно, что ничто не препятствует так электричеству, не уничтожает его быстрее, чем влага. Несмотря на все это, в турмалине создается в самой же воде весьма заметное электричество.

Особое сходство, проявляющееся в этих опытах, между турмалином и магнитом, также заслуживает наблюдения. Турмалин притягивает двумя своими сторонами ненаэлектризованные тела подобно тому, как два полюса магнита притягивают ненамагниченное железо. Но в случае, когда турмалин действует на электризованные тела, одна его сторона притягивает тела, которые другая его сторона отталкивает, и, напротив, другая сторона притягивает те из них, кои первая оттолкнула. Магнит действует таким же образом

на намагниченное железо, и одно и то же правило имеет место по отношению к обоим этим камням; т. е. все тела, имеющие одинаковые электрические или магнитные свойства, отклоняются друг от друга, те же, кои имеют их различными, взаимно притягиваются.

При виде столь большого соответствия, возможно ли удержаться от мысли, что природа, быть может, пользуется одинаковыми средствами для создания явлений электричества и магнетизма?

Мысль эта столь естественна, что должна представиться каждому. При виде таких явлений в турмалине, она мне сразу пришла на ум, и я беседовал о ней со многими из моих друзей, как о вещи, весьма правдоподобной. Другие изыскания настолько утвердили меня в моем мнении, что я считаю его почти достоверным.

Однако, так как я буду обсуждать этот предмет особо,[1] было бы бесполезно говорить здесь о нем далее.

Следует мне заметить еще одно обстоятельство, о котором я позабыл сказать до настоящего времени. Хотя теплота порождает в турмалине электричество, однако не следует думать, что связь между теплотой и электричеством, кое произведено ею, неразрушима, или что электричество прекращается после того, как прошла теплота.

Раз турмалин становится электрическим посредством теплоты, он продолжает пребывать им и после полной потери тепла. Действительно, я нашел, что электричество этого камня было весьма чувствительным в течение 6 часов после нагревания.

Предшествующие опыты учат нас, в общем, что путем нагревания одна сторона турмалина становится положительно-электрической, а другая — отрицательно-электрической; однако, внимательно присматриваясь к опытам, из которых было выведено это правило, мы легко заметим, что способом,

[1] Что я сделал уже в трактате, озаглавленном „Tentamen theoriae Electricitatis et Magnetismi", изданном здесь в 1759 г.[5]

которым я пользовался до сих пор для разогревания турмалина, он разогревался всегда таким образом, что теплота равномерно распространялась по всему камню, либо он получал с обеих сторон равное количество теплоты, ибо раз его погружают либо в горячую воду, либо в другие нагретые жидкие материи, т. е. теплота распределяется равномерно, то следует ему также нагреваться одинаково со всех сторон, и при обстоятельствах этих одна сторона не может получить ни больше, ни меньше тепла, чем другая.

Таким образом, мы можем разумно допустить правило, что путем нагревания одна сторона становится положительно-электрической, а другая — отрицательно, лишь в том случае, если турмалин нагрет равномерно со всех сторон.

Вот все, что говорят нам опыты, сделанные до сих пор, и вполне возможно, что при нагревании турмалина таким способом, чтобы одна из сторон получила тепла более, нежели другая, предыдущее правило не будет иметь места. Следующие опыты показывают, что это так в действительности и есть, и, что мы совершили бы ошибку, пожелав распространить предыдущее правило на все случаи.

Для того чтобы это было понятнее, мне кажется необходимым разъяснить предварительно несколько терминов, коими я буду пользоваться в дальнейшем. Состояние, в какое перейдет турмалин путем равномерного нагревания, я буду называть его *естественным состоянием*, сторону турмалина, постоянно получающую в этом случае положительное электричество, — *положительной стороной*, другую же, которая становится отрицательно-электрической, — *отрицательной стороной.*

Опыт IX

Я положил турмалин на раскаленный уголь, откуда снял его щипчиками, после того как он показался мне достаточно нагретым, и поместил его на вышеупомянутую подставку

таким образом, что его отрицательная сторона была повернута кверху. Я обнаружил:

1) что эта сторона стала электрической не отрицательно, как это бывает, когда турмалин находится в естественном состоянии, но положительно. Ибо после сообщения его электричества маятнику, последний был оттолкнут стеклянной электрической трубкой, но притянут испанским воском;

2) когда я поворачивал кверху положительную сторону камня, она становилась отрицательно-электрической. Было безразлично при этих операциях, положительную или отрицательную сторону камня прикладывать к углю, ибо результат был одинаков;

3) после того как камень полежал малое время, я захотел повторить опыты, но не нашел более турмалин в состоянии, в коем он находился вначале. Наоборот, он пришел самопроизвольно в естественное состояние свое, и положительная сторона не была более отрицательно-электрической, но положительно; равно, как и отрицательная сторона не была более положительно-электрической, но отрицательно.

Замечание

Явления этого опыта сильно меня по началу затруднили. Опасаясь какой-либо ошибки, я извлекал турмалин весьма часто, со всеми мыслимыми предосторожностями, однако явление постоянно повторялось. Не имея более возможности сомневаться в действительности факта, я стал внимательно исследовать все обстоятельства, дабы открыть то, кое содержит причину, почему результат последнего опыта отличается от результата предшествующих. Я заметил, что существует разница в способе разогревать турмалин. В предшествующих опытах жидкость, равно повсюду нагретая, окружала турмалин. Следовательно, камень должен был получать одинаковую теплоту всеми своими частями. Однако в последнем опыте турмалин неизбежно больше нагревался с одной стороны,

чем с другой, ибо сторона, касающаяся угля, первая принимает тепло и должна, поэтому, быть горячее другой, по крайней мере, пока камень остается на угле.

Даже когда камень снимают, сторона, касавшаяся камня, сохранит больше тепла, нежели другая.

Между тем, эта разница в тепле обеих сторон камня не длительна, так как, поскольку теплота сама по себе распространяется всегда равномерно, то надлежит ей переходить от более теплых частей турмалина к более холодным до тех пор, пока не распределится она равномерно по всей его субстанции.

Я надеялся найти в этом обстоятельстве причину, искомую мною, и, повидимому, весьма вероятно, что можно относительно особенностей турмалина установить два следующих правила:

1) если турмалин одинаково нагрет с обеих сторон, он находится всегда в естественном состоянии;

2) если теплота распределена неравномерно или одна из сторон более нагрета, нежели другая, то он находится в обращенном состоянии, иначе говоря, сторона положительная — отрицательно-электрическая, сторона же отрицательная — положительно.

Истинность сих правил показалась мне тем менее сомнительной, что если посчитать их за непреложные, то удивительное явление возвращения турмалина к своему естественному состоянию может быть весьма легко объяснено, так как, когда турмалин снимают с угля, он разогрет еще неравномерно и находится, согласно правилу второму, в обращенном состоянии. Но после того как теплота сама по себе распространилась по всему камню, он находится, согласно правилу первому, в своем естественном состоянии. Я предпринял еще следующие опыты, дабы совершенно убедиться в правильности моих положений.

Опыт X

Хорошо разогрев довольно толстую металлическую пластину, я положил ее на указанную мною выше подставку и положил на пластину турмалин таким образом, чтобы его отрицательная сторона была сверху. Он сразу стал электрическим, однако отрицательная сторона камня, повернутая кверху, была не отрицательно-электрической, но положительно. Турмалин довольно долго оставался в этом состоянии. Тогда как в предыдущих опытах он возвращался к естественному состоянию в течение нескольких минут, иногда даже менее минуты, в этом последнем опыте он достиг его лишь после гораздо более длительного перерыва и часто даже после 4 или 5 минут. Один, два раза по истечении 3 минут опыта я приблизил к камню маятник, коему сообщил положительное электричество. Он был оттолкнут всеми участками повернутой вверх стороны, но некоторые участки этой стороны, расположенные в непосредственной близости с другими, притягивали его. Напротив, если я сообщал маятнику электричество отрицательное, он был привлечен теми участками, кои его отталкивали, и отталкиваем теми из них, кои его притягивали, когда он был положительно-электрическим. Следовательно, повернутая вверх сторона турмалина не была целиком положительно- либо целиком отрицательно-электрической, но существовали некоторые участки, наделенные электричеством положительным, а другие — наделенные электричеством отрицательным. Несколько минут спустя, я нашел сторону турмалина, повернутую вверх, повсюду отрицательно-электрической и таким камень в дальнейшем оставался без всяких изменений.

Замечание

Из этого опыта видно, что возвращение турмалина к естественному состоянию происходит не сразу, но постепенно; тем более, что те отрицательно-электрические участки,

кои в начале опыта были положительно-электрическими, появляются на отрицательной стороне и не перестают распространяться до тех пор, пока положительное электричество этой стороны не уничтожится.

Опыт XI

Я действовал в этом опыте так же, как в предыдущем, с той разницей, что здесь положительная сторона турмалина была повернута кверху и результат был в точности подобен результату предыдущего опыта; другими словами, положительная сторона была вначале отрицательно-электрической, но стала самопроизвольно положительно-электрической за 4 или 5 минут. Турмалин, следовательно, был в начале этого опыта, как и в первом, в обращенном состоянии, но возвратился в свое естественное состояние тем же, что и ранее, способом.

Замечание

Когда я для этих двух опытов вместо металлической пластины пользовался куском стекла или другим материалом, результат опытов, несмотря на это, был неизменен.

Успех этих опытов хорошо согласуется со вторым правилом, данным мною выше, в частности в том, что здесь турмалину требуется гораздо более времени, чтобы возвратиться в естественное состояние, чем в опыте IX.

Действительно, нагревание по всей поверхности турмалина не может произойти столь быстро, как в предыдущем случае. Сторона камня, прикасающаяся к металлу, получает неизменно больше тепла, и равномерное распределение тепла происходит не ранее, чем турмалин достигнет той же степени нагрева, что и металл, на котором он покоится. Но если снять камень с угля или горячего металла, как в опыте IX, равномерное распределение тепла произойдет гораздо ранее, чем когда он беспрестанно вновь получает тепло. Поскольку,

согласно правилу второму, турмалин не сможет достигнуть своего естественного состояния, с этим хорошо согласуется, что турмалин в настоящем опыте возвращается к естественному состоянию гораздо медленнее, чем в опыте IX.

Опыт XII

Я сильно нагрел и, насколько это было для меня возможно, в одинаковой степени две металлические пластины и поместил между ними турмалин, так чтобы одна пластина касалась положительной стороны, другая — отрицательной стороны камня. Сочтя его достаточно нагретым, я поместил турмалин на вышеупомянутую подставку, и нашел его с самого начала в естественном состоянии, каким он и оставался без изменения; я наблюдал тот же результат, если помещал турмалин между двумя углями.

Опыт XIII

После помещения турмалина на подставку, столь часто упоминаемую, я собрал солнечные лучи с помощью зажигательного зеркала таким образом, чтобы фокус падал на внешнюю поверхность камня. При таком способе нагревания турмалин приобрел электричество, однако он находился в обращенном состоянии. Тем не менее, он вернулся вскорости к естественному состоянию.

Замечание

Совершенно ясно видно из всех предыдущих опытов, что турмалин находится в своем естественном состоянии всякий раз, как он нагревается одинаково со всех сторон.

Напротив, если он нагрет неравномерно, то вначале находится в обращенном состоянии и возвращается к естественному лишь пропорционально времени, потребному на равномерное распределение тепла. Эти доводы кажутся мне

столь убедительными, что не может остаться никакого сомнения в истинности правила второго, кое я ранее установил. Впрочем, следующий опыт подтверждает его еще более.

Опыт XIV

Я поступаю по всем пунктам, как в опытах X и XI, но после того как турмалин, оставаясь около минуты на латунной пластине, находится в обращенном состоянии, я повертываю его так, чтобы сторона, ориентированная ранее вверх, касалась пластины. Вскоре после этого, обычно после приблизительно 2 минут, он возвращается к своему естественному состоянию.

Замечание

Без труда понятно, что при подобном способе действия, когда, согрев одну сторону камня, его повертывают так, чтобы более холодная сторона касалась горячего металла, равномерное нагревание должно совершиться гораздо ранее, чем в опытах X и XI. И действительно, турмалин достигает своего естественного состояния быстрее, нежели в предыдущих опытах, согласно требованиям моего правила второго.

Убежденный в том, что я достаточно наблюдал явления турмалина и правила, коим следует он в своих проявлениях, когда нагрет, я перешел к другим экспериментам. Поскольку турмалин принадлежит к драгоценным камням, кои, согласно открытию г-на Дю-Фэ, по своей природе электрические, я не сомневался, что это же свойство может быть приписано и сему камню. Отсюда я предугадал, что если его натереть, он должен стать электрическим, подобно другим телам этого рода. Мне оставалось рассмотреть правила, которым следует этот камень, когда посредством нагревания становится электрическим. Ввиду этого я проделал следующие опыты.

Опыт XV

Я поместил турмалин положительной стороной на сукно, покрыв пальцем другую, и несколько раз потер его о сукно, но очень слабо и не слишком нажимая. После чего, я поместил его на стеклянную подставку и нашел, что сторона камня, касавшаяся сукна, — положительно-электрическая, а другая, которая была покрыта пальцем, — отрицательно-электрическая.

Опыт XVI

Я проделал тот же опыт, положив турмалин отрицательной стороной на сукно и покрыв положительную пальцем. Результат был подобен результату предыдущего опыта, т. е. сторона, потертая о сукно, стала положительно-электрической, а та, которая была покрыта пальцем, стала отрицательной.

В обоих этих опытах турмалин оставался в состоянии, в которое его поставило трение до полного затухания электричества.

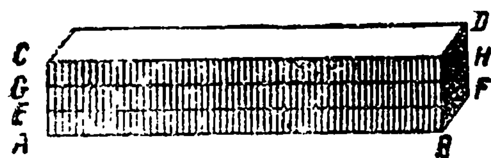
Замечание

Следует потереть турмалин очень слабо, чтобы успеть в этих двух опытах, ибо если его потереть сильно, он мог бы через это получить значительную теплоту. Однако мы знаем, что путем нагревания он становится электрическим. Таким образом, если его слишком сильно потереть, то могло бы произойти, так сказать, смешение электричества, полученного нагреванием, с тем, которое происходит от трения, и, таким образом, явления перепутались бы. Впрочем, в этих опытах не проявляется ничего, что не было бы общим у турмалина с другими драгоценными камнями и электрическими телами типа стекла.

При всех обстоятельствах сторона турмалина, потертая об сукно, становится всегда положительно-электрической.

Отсюда видно, что по отношению к электричеству, полученному трением, стороны этого камня ничем не отличаются друг от друга, тогда как в отношении электричества, полученного нагреванием, они наделены качествами, полностью противоположными.

Тем не менее в этих опытах наблюдается одно явление, которое мы могли бы предположить исключительно относящимся к турмалину. Это то, что сторона, покрытая при трении пальцем, становится отрицательно-электрической. Это явление показалось мне самому новым. Вот почему я рассматривал его вначале, как свойство, присущее только турмалину. Однако несколько размышлений и опытов, сделанных по этому поводу, показали мне, что оно присуще всем телам типа стекла и даже всем электрическим по своей природе телам. После более внимательного рассмотрения причины явления, о котором я только что говорил, я нашел в теории Франклина объяснение, которое меня совершенно удовлетворило. В то время как мы натираем о сукно сторону *AB* турмалина (фиг. VII), электрическая материя собирается и увеличивается в ней за пределы природного количества. Однако так как турмалин — тело, электрическое по своей природе, то электрическая материя может лишь с трудом проникать в него. Ибо этим отличаются тела, электрические по своей природе, от тел неэлектрических. Итак, электричество, уплотненное в *AB*, не сможет проникнуть внутрь всего турмалина в целом, но лишь на известную глубину; напр. до линии *EF*. Но так как частицы электрического вещества взаимно отталкиваются и избегают друг друга, как это показал Франклин на убедительных опытах, то электрическая материя, уплотненная в пространстве *ABEF*, должна принудить материю, содержащуюся в части *EFCD*, отступить к поверхности *CD*. Таким образом, если к этой поверхности прикасается палец или другое неэлектриче-



Фиг. VII.

ское тело, то электрическая материя будет вынуждена частично в него войти. Таким образом, пространство *EFCD* опорожнится от электрической материи или станет отрицательно-электрическим.

Я без затруднения смотрю на это объяснение, как на истину, поскольку, с одной стороны, оно выведено из теории, достоверность которой была самым убедительным образом подтверждена ее автором, а с другой стороны, превосходно согласуется с явлением.

Легко понять, что эта теория может быть с неменьшим основанием применима не только к турмалину, но ко всем телам типа стекла, так как она предполагает лишь то, что турмалин обладает свойствами электрического по своей природе тела типа стекла. Это послужило для меня убеждением в том, что явление это имеет место во всех телах подобного типа, и последующие опыты не оставляют по этому поводу никакого сомнения.

Опыт XVII

Я взял выпуклую стеклянную чечевицу, которую было удобно покрыть пальцем, и потер ее так же, как турмалин. Результат был подобен результату предыдущего опыта; иными словами, сторона, потертая о сукно, была положительно-электрической, а сторона, покрытая пальцем, — отрицательно-электрической. То же было и с восьмиугольным, плоским с обеих сторон сердоликом, толщиной около полудюйма.

Замечание

Что-либо подобное должно иметь место в смолистых телах или в тех, кои путем трения о сукно получают электричество отрицательное.

Когда палец касается поверхности *CD* такого тела (фиг. VII), электрическая материя, содержащаяся в пальце, будет

притянута частями, составляющими тело *ABCD*; но оно будет отталкиваться электрической материей, содержащейся в этом теле. Итак, пока тело *ABCD* не натерто и содержит еще природное количество электрической материи, это притяжение и отталкивание взаимно уравновешиваются и, таким образом, ни одна частица электрической материи, содержащейся в пальце, не может проникнуть в тело.

Но если тело натерто о сукно, то поверхность *AB* становится порожней от электрической материи, и, следовательно, та, которая находится в пальце, касающемся поверхности *CD*, будет притягиваться с той же, что и раньше силой, но не будет попрежнему отталкиваться. Она подчинится, таким образом, притяжению и перейдет в поверхность *CD*. Так как тело *ABCD*, электрическое по своей природе, то она сможет лишь с большим трудом в нем перемещаться. Она, следовательно, не сможет в него целиком проникнуть, но лишь до известной глубины, быть может до линии *GH*. Электрическая материя соберется, таким образом, в пространстве *GHCD*, и поверхность станет, следовательно, положительно-электрической. Следующие опыты полностью подтверждают истинность этих выводов.

Опыт XVIII

Я потер о сукно, как делал уже с турмалином, плоский с обеих сторон кусок янтаря, толщиной около полудюйма, который мог быть целиком закрыт пальцем. Исследуя его, я нашел сторону, потертую о сукно, отрицательно-электрической, а сторону, покрытую пальцем, — положительно-электрической. Очень тонкий кусок серы или испанского воска, вместо янтаря, приводил к тем же результатам.

Опыт XIX

Известно из нескольких опытов г-на Кэнтона, которые можно найти в Philosophical Transactions, v. XLVIII, p. II,

р. 780, что матово обточенное стекло, потертое о сукно, производит не положительное электричество, подобно гладкому стеклу, но отрицательное. По этой причине я навел шероховатость на одну из сторон стеклянной чечевицы, которой пользовался в опыте XVII.

1) Когда я клал ее матовую сторону на сукно, а палец на блестящую и тер ее способом, описанным выше, то матовая сторона становилась отрицательно-электрической, а блестящая сторона — положительно-электрической.

2) Когда я тер блестящую сторону о сукно, покрывая пальцем матовую сторону, то первая становилась положительно-электрической, а последняя — отрицательно-электрической.

Опыт XX

Я навел шероховатость также и на вторую сторону той же чечевицы. Если я натирал ее, согласно предписанию, то сторона, натертая о сукно, постоянно делалась отрицательно-электрической, а другая, покрытая пальцем, — положительно-электрической.

Замечание

Эти опыты превосходно согласуются со всем тем, что я перед этим вывел из теории, и ставят вне сомнения истинность того правила, что при методе, описанном выше, сторона тела, натертая сукном, получает всегда электричество, противоположное тому, какое получает сторона, покрытая пальцем. Легко понять, что результат опытов должен быть совсем иной, если одна из сторон такого плоского тела, не лежащая на сукне, не касается пальца или другого неэлектрического тела. Иными словами, обе стороны должны постоянно получать одинаковые электричества, ибо, если положить, что электрическая материя собирается на поверхности AB (фиг. VII) и в пространстве $ABCD$, она вытеснит

путем отталкивания материю, находящуюся в пространстве вблизи поверхности *EFCD*. Итак, она будет двигаться к ней, и, если не найдет там никакого неэлектрического тела, через которое смогла бы свободно утечь, она покинет частично пространство *EFGH* и соберется у поверхности *CD*, в пространстве *GHCD*. Таким образом, эта сторона станет положительно-электрической. Если же, напротив, пространство *ABEF* станет свободным от электрической материи, то сила, с которой электрическая материя, заключенная в пространстве *EFCD*, была ранее отталкиваема, уменьшится. Эта материя должна, следовательно, уступить притяжению частиц, из которых состоит тело *ABCD*, и потечь к *EF*. Итак, если поверхность *CD* не касается никакого неэлектрического тела, и, следовательно, никакая электрическая материя не может войти в *CD*, она покинет пространство *CDGH*, кое, таким образом, станет порожним, и поверхность *CD* станет отрицательно-электрической.

Последующие опыты подтверждают это рассуждение как по отношению к турмалину, так и по отношению к другим, электрическим по своей природе телам.

Опыт XXI

Я прикрепил кусочком испанского воска турмалин *AB*, (фиг. VIII) к тонкой стеклянной трубочке *C*, и слабо потер его сторону *AB* о сукно. Обе стороны турмалина стали после этого положительно-электрическими, ибо он от обеих сторон оттолкнул маятник, бывший положительно-электрическим. Для этого опыта было безразлично, натирать ли положительную или отрицательную сторону камня, и турмалин оставался в этом состоянии, в кое он введен был трением, до полного затухания электричества.



Фиг. VIII.

Опыт XXII

Действуя таким же образом со стеклянной чечевицей, которая употреблялась в опыте XVII, до того как была матово обточена, я получил точно такой же результат, как и с турмалином.

Опыт XXIII

Я приклеил кусочек янтаря, коим пользовался в опыте XVIII, к стеклянной трубке и, потерев ее о сукно, я нашел, что обе стороны отрицательно-электрические. Испанский воск и сера привели к тому же результату.

Опыт XXIV

Обточив матово одну из сторон стеклянной чечевицы, о которой говорилось выше, я стал поступать по прежнему способу. Тогда:

1) после того, как я потер матовую сторону о сукно, обе стороны становились отрицательно-электрическими; напротив:

2) когда была натерта блестящая сторона, обе стороны становились положительно-электрическими.

Опыт XXV

Обе матово обточенные стороны чечевицы становились отрицательно-электрическими, будучи потерты по способу, данному выше.

Замечание

Все, что было сейчас сообщено, доказывает, что после того, как турмалину простым трением было передано электричество, он производил то же действие, что и прочие электрические тела типа стекла.

Следовательно, электричество, порожденное в турмалине трением, не имеет в себе ничего особенного, но то, кое доставляется ему посредством теплоты, следует правилам, совершенно отличным и исключительно турмалину присущим.

Таким образом, в турмалине различаются два электричества, одно из которых именно и есть то, кое присуще всем телам типа стекла, другое, порожденное теплом, совершенно отлично от первого.

В опытах, о коих до сих пор говорилось, одно из этих электричеств, свойственных турмалину, всегда создавалось без другого, тем не менее возможно также создавать их оба сразу.

Соединение этих двух электричеств позволяет нам тогда наблюдать явления, которые кажутся весьма неясными и беспорядочными.

Я исследовал в последующих опытах все могущие представиться случаи.

Опыт XXVI

Я положил отрицательную сторону турмалина на сукно, и, поставив палец на противоположную сторону, я его сильно потер, до тех пор пока он изрядно согрелся, а затем поместил на подставку (фиг. II).

1) Нашел вначале сторону, натертую о сукно, положительно-, а другую отрицательно-электрической.

2) По истечении значительного времени я заметил, что турмалин самопроизвольно изменил свое состояние и вернулся в то, какое ему присуще. Иными словами, я нашел отрицательную сторону, натертую о сукно, отрицательно-электрической, а положительную сторону, тронутую пальцем, положительно-электрической.

Замечание

Нет никакого сомнения, что оба электричества турмалина создаются в одно время. Странные явления, кои предстают

в этом опыте, происходят, следовательно, от соединения этих двух электричеств, и им можно дать вполне естественное объяснение, если предположить, что электричество, создаваемое трением, сильнее и деятельнее, но менее длительно, чем то, кое происходит от теплоты.

Принимая во внимание, что во время трения сторона турмалина, натираемая о сукно, согревается более другой, камень должен вначале находиться в аномальном состоянии, где его отрицательная сторона — положительно-электрическая, а сторона положительная — отрицательно-электрическая.

Так как трение ввергает турмалин именно в это состояние, то понятно, что вначале его можно найти только в обращенном состоянии. Но спустя некоторое время тепло равномерно распространяется по всему турмалину, и тогда он возвращается в свое естественное состояние. Он должен, следовательно, находиться в этом состоянии с того момента, как электричество, произведенное трением, прекратится.

Опыт XXVII

Я действовал во время этого опыта так же, как в предыдущем, с той разницей, что я потер о сукно положительную сторону турмалина. Я нашел:

1) вначале — потертую сторону положительно-электрической, а покрытую пальцем — отрицательно-электрической;

2) турмалин находился в таком состоянии без какого-либо изменения до полного затухания электричества.

Замечание

В этом опыте теплота должна была привести камень в обращенное состояние и положительная сторона, потертая о сукно, должна была стать отрицательно-электрической, так же как отрицательная сторона должна была стать положительно-электрической.

Однако если рассмотреть электричество, полученное трением, то должно произойти как раз обратное. Так как это последнее электричество сильнее и деятельнее, то вначале оно должно проявиться одно.

Предположим, что электричество, полученное трением, прекратилось до того, как теплота равномерно распределилась по всему турмалину, тогда электричество, созданное одной лишь теплотой, начало бы проявляться, и нам казалось бы, что турмалин сам перешел от состояния обращенного к состоянию естественному; однако электричество, созданное трением, исчезает не столь быстро, как это требуется для того, чтобы теплота распространилась по всему камню, который, стало быть, самопроизвольно возвращается в свое естественное состояние. После полного исчезновения электричества, полученного трением, можно ожидать найти турмалин в этом состоянии, т. е. его положительную сторону положительно-электрической, а отрицательную сторону — отрицательно-электрической.

Опыт XXVIII

Я приклеил турмалин к стеклянной трубке способом, описанным в опыте XXI, и потер его отрицательную сторону до изрядной степени нагревания.

Тогда:

1) обе стороны турмалина были вначале положительно-электрическими;

2) положительная сторона камня оставалась попрежнему положительно-электрической, но отрицательная сторона самопроизвольно изменила свое состояние и стала отрицательно-электрической.

Если таким же образом потереть положительную сторону камня, то:

1) обе стороны оказываются положительно-электрическими;

2) положительная сторона остается положительно-электрической, но отрицательная самопроизвольно становится отрицательно-электрической.

Замечание

Электричество, полученное трением, в обоих опытах рассеивается лишь тогда, когда теплота равномерно передается по всему турмалину, но так как оно сильнее электричества, полученного нагреванием, то вначале только оно одно себя проявляет, а после его затухания последнее проявляется также в единственном числе. Следовательно, в одном и другом опыте положительная сторона должна оставаться всегда положительно-электрической, а отрицательная сторона должна изменить состояние и стать отрицательно-электрической.

Опыты, кои я описал, подтверждают особенности, приписанные мною турмалину, и смею надеяться, что утверждения, содержащиеся в моем первом мемуаре,[6] не будут подвергнуты сомнению; так как обстоятельное описание моих опытов позволяет каждому удостовериться посредством собственных исследований в истинности моих наблюдений.

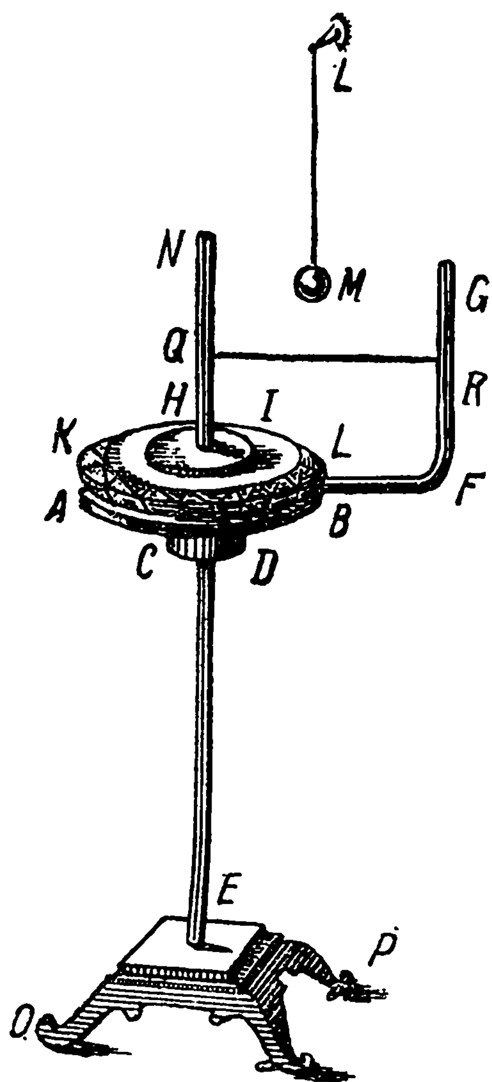
Дабы облегчить этот труд физикам, я расположил мои опыты таким образом, что законы электризации турмалина могли бы распознаваться с первого взгляда без того, чтобы следовать за порядком опытов, посредством которых я сделал все сии открытия. Легко себе представить, что лишь после многих бесплодных попыток, мне удалось открыть своеобразные свойства турмалина. Но с тех пор, как я их знаю, я в состоянии расположить мои опыты в таком порядке, что небольшого их числа достаточно уже, чтобы пролить довольно света на все, что касается этого удивительного камня. Не без блужданий приходят в местность, положение коей не известно, но раз узнав его, легко притти к нему прямым путем.

Хотя опыты, описанные до сих пор, достаточны, чтобы ознакомить с особенностями турмалина, я не сумею, тем не

менее, ограничиться от присоединения еще некоторых из них. Они, по правде, не говорят нам ничего нового, однако они столь примечательны, что нельзя обойти их молчанием.

Опыт XXX

Я велел немного изогнуть маленькую латунную пластинку эллиптической формы, немного меньшую, чем турмалин (*AB*, фиг. IX), так, чтобы турмалин *KL* мог своей выгнутой стороной *KABL* удобно в ней покоиться. Я велел припаять втулку *CD* к основанию этого маленького тазика, к коему прикрепил тонкую изогнутую проволочку *BFG*. Я велел сделать также другую тонкую, но плоскую пластинку *HI*, также эллиптическую и немного меньшую, чем турмалин, из середины которой перпендикулярно исходила проволока. Я поместил турмалин, предварительно нагрев его в кипятке, между этими двумя пластинками по способу, показанному на фиг. IX.



Фиг. IX.

Иначе говоря, я вставил стеклянную трубку *DE* во втулку *CD*. Я положил турмалин на пластинку *AB* так, что его плоская сторона находилась сверху и была покрыта пластинкой *HI*. После этого я подвесил маятник *ML* так, чтобы пробковый шарик *M* находился на одинаковом расстоянии от обеих проволок *BFG* и *NH*; маятник тотчас же был попеременно притягиваем и отталкиваем, переносясь весьма быстрым движением от одной проволоки к другой. Это попеременное притяжение и отталкивание продолжалось обыкновенно весьма долго и часто даже более часу.

Замечание

Этот приятный опыт не открывает, по правде говоря, ничего нового, но подтверждает весьма наглядно некоторые из правил, отмеченные выше.

Турмалин сообщает свое электричество телам, коих касается, и плоская поверхность пластины *KHIL* при этом эксперименте отрицательно-электрическая, а сторона *KABL*, напротив, положительно-электрическая, отсюда следует, что проволока *HN* становится отрицательно-электрической, а проволока *BFG* — положительно-электрической.

Следовательно, маятник, вначале неэлектрический, притягивается с самого начала проволокой *HN*, которая, касаясь его, сообщает ему отрицательное электричество. После чего та же проволока отталкивает маятник, и тогда проволока *FG*, положительно-электрическая, с силой его притягивает. Маятник, следовательно, вынужден покинуть *HN* и начать двигаться в сторону *FG*; лишь только он коснулся проволоки *FG*, последняя отнимает у него отрицательное электричество и, напротив, сообщает ему положительное: таким образом, маятник отталкивается проволокой *FG* и притягивается *HN*, возвращаясь от *FG* к *HN*, двигаясь без конца от одной к другой по причинам, только что приведенным, все время, пока электричество в силе.

Помимо того, что этот опыт ясно показывает оба противоположные свойства турмалина, я нахожу его весьма примечательным по сходству, кое обнаруживается между этим камнем и магнитом. Пластины *AB* и *HI* заменяют в каком-то смысле ярмо, а проволоки *HN* и *FG* суть, так сказать, искусственные полюсы, кои в этом случае обладают противоположными свойствами, подобно магнитным.

Опыт XXXI

Я повторил этот опыт, соблюдая те же условия, что и в предыдущем, с той разницей, что обе проволоки *HN* и *FG*

я соединил тонкой латунной проволочкой *QR*. После этого никакое электричество себя не проявляло ни в *HN*, ни в *FG*, и маятник не сделал никакого колебательного движения от одной проволоки к другой, как было в предыдущем опыте. Но лишь только я убрал проволочку *QR*, маятник пришел в то же движение, что и раньше.

Замечание

Если соединить проволоки *HN* и *FG* проволочкой, то они будут представлять собой, так сказать, единое металлическое тело. Сторона *KHIL* турмалина сообщает ему отрицательное электричество, а сторона *KABL* — положительное. Эти два противоположных свойства взаимно уничтожаются, и по этой же причине ни одна из проволок не обнаруживает электричества.

Но едва лишь проволочка *QR* убрана, как *HN* и *FG* перестают быть одним целым, и, следовательно, явление становится таким же, как и в предыдущем эксперименте.

Опыт XXXII

Здесь я действовал во всех отношениях так же, как и в опыте XXX, с той разницей, что разогревал турмалин не в кипятке, но на углях.

1. Вначале явление было похоже на опыт XXX.

2. Чередующееся движение маятника спустя некоторое время стало ослабевать и, наконец, совсем прекратилось.

3. Чередующееся движение маятника возобновилось само по себе спустя некоторое время и продолжалось без перерыва более часу.

Замечание

Легко увидеть, что во время этого опыта турмалин находится вначале в обращенном состоянии и что тогда прово-

лока HN — положительно-электрическая, а проволока FG — отрицательно. Но так как турмалин самопроизвольно возвращается в естественное состояние, то проволоки HN и FG должны постепенно потерять свое электричество, а затем HN должна стать отрицательно-электрической, а FG — положительно. Итак, весьма легко постигнуть причину этого неоднородного движения маятника.

Опыт XXXIII

Я положил турмалин плоской стороной на разогретую пластинку и покрыл его другую сторону легким слоем порошка ликоподия при помощи пуховки для пудры. Прилипнув к турмалину, порошок сам собой расположился в некоем определенном порядке. Частицы порошка сцепились друг с другом и образовали множество маленьких нитей, от коих камень совершенно ощетинился. Нити, возвышающиеся из середины камня, были ему перпендикулярны, а по мере приближения к краям, они все более и более были наклонны.

Замечание

Этот опыт, который я повторял более 20 раз, в совершенстве удался мне лишь 4, 5 раз. Для этого требуется, чтобы турмалин был нагрет до такой точки, чтобы степень электричества была строго определенной. Если его электричество слишком слабо, оно недостаточно сильно действует, чтобы четко уложить порошок в указанном порядке. Если у камня слишком много электричества, то он сообщает его порошку в столь большом количестве, что последний отталкивается и отбрасывается им с поверхности.

Итак, в этом опыте мы находим чувствительное и странное соответствие между турмалином и магнитом, ибо порошок ликоподия располагается на нем в точно таком же порядке, как железные опилки на полюсе магнита.



ДОПОЛНЕНИЕ К ПРЕДЫДУЩЕМУ МЕМУАРУ

С того времени, как я составил предшествующий мемуар, я проделал различные наблюдения и опыты, которые кажутся мне достойными внимания. Я сообщу их моим читателям в этом небольшом дополнении.

Когда я начал изыскания с турмалином, я не ожидал найти в этом камне оба электрических свойства вместе, т. е. положительное и отрицательное, и был немало удивлен этим открытием. Однако если бы я немного внимательнее рассмотрел выводы теории Франклина, я не был бы поражен событием, кое легко было мне предвидеть.

Согласно теории Франклина, имеются только два способа сделать тело электрическим: это либо увеличивая, либо уменьшая количество электрической материи, которую оно содержит в своем естественном состоянии. В первом случае мы сделаем это тело положительно-электрическим, во втором — отрицательно. В одном и другом случае ясно, что нельзя создать один вид электричества без того, чтобы не создать другой. Иными словами, если я хочу в каком-либо теле увеличить количество электрической материи, я должен неизбежно взять ее вне его и, следовательно, уменьшить ее в каком-либо другом теле.[7] По этой же причине я не смогу где-либо уменьшить электрическую материю без того, чтобы не передать ее в другое тело, и там ее не увеличить.

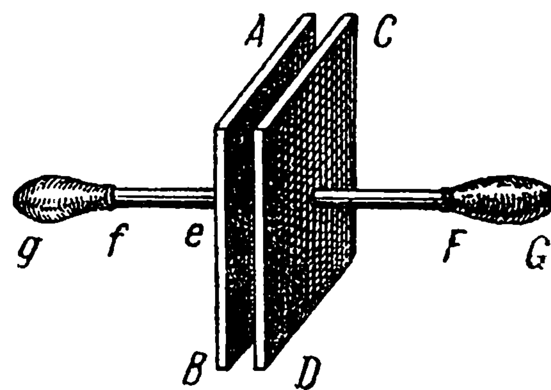
Таким образом, едва возникает электричество положительное, как отрицательное возникает одновременно с ним и одно не может быть получено без другого.

Я тщательно исследовал, подтверждает ли эксперимент — этот единственный в физике компетентный судья — данный принцип, и нашел, что в этом пункте, как и во всех других, он согласуется с выводами теории Франклина.

Наиболее распространенный способ получить электричество — это потереть два тела одно о другое. Я основал первоначально на этом свои исследования и проделал следующий опыт.

Опыт I

Я взял два куска гладкого зеркального стекла AB и CD (фиг. X), поверхностью в 4 квадратных дюйма. Я приклеил каждое из них к стеклянному цилиндру, вделанному в деревянные ручки FG и fg. Я потер оба квадрата друг о друга, держа их за ручки, и нашел, что стекла стали оба электрическими, но различно, — одно положительно, — другое отрицательно.



Фиг. X.

Этот опыт требует для успеха больших предосторожностей. Нужно, в особенности, стараться, чтобы сами квадраты также и цилиндры были сухими, и избегать делать этот опыт в сырую погоду. В случае, если погода ему не благоприятствует, следует согреть квадраты и цилиндры на спиртовке.

Этот опыт можно разнообразить до бесконечности. Стоит лишь взять пластинки любого вещества, вместо вышеупомянутых стекол, и результат будет всегда одинаковым. Можно, например, потереть стекло о серу; серу об испанский воск; стекло или серу о медь или о какой-либо другой металл и т. д. — всегда будут наблюдаться одинаковые явления.

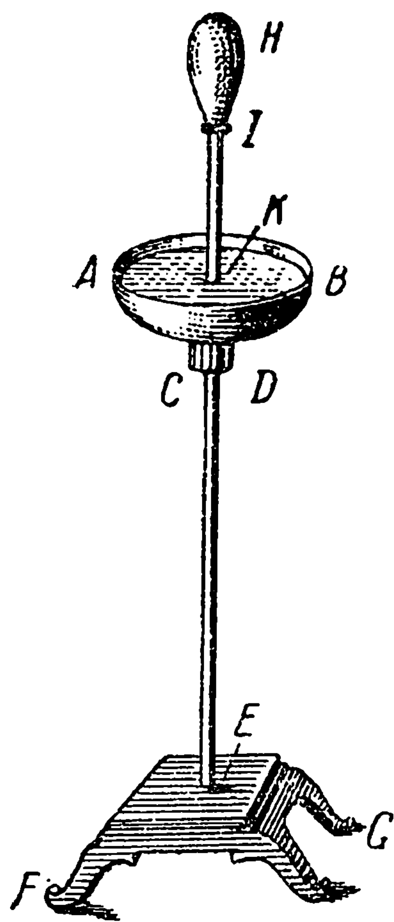
Я исключаю отсюда один лишь случай, а именно, если потереть два неэлектрических тела, как, например, два куска металла, ибо в этом случае никогда электричества не будет.

Я проделал большое количество опытов подобного же рода, которые позволяют мне установить в качестве аксиомы: если электричество создано трением, оба электрических свойства возникают всегда одновременно, и из двух натертых тел неизбежно одно становится положительно-, а другое отрицательно-электрическим.

Другой известный способ получения электричества состоит в том, что плавят серу или другое смолистое вещество. С этой целью я произвел следующие опыты.

Опыт II

Я велел сделать небольшое вогнутое оловянное блюдце *AB* (фиг. XI), 2 дюйма в диаметре, и припаять к нему снизу небольшую втулку *CD*. Я вделал во втулку стеклянную трубку *DE*, укрепив ее в подставке *FG*. Я вылил в блюдце *AB* растопленную серу, и как только она затвердела, я приделал ручку *HIK*, подобную тем, кои я описывал в предыдущем опыте. Спустя некоторое время я нашел, что сера, так же как и блюдце, стала электрической, однако разными видами электричества: одно из этих тел всегда оказывалось положительно-, а другое отрицательно-электрическим.



Фиг. XI.

Этот опыт может также разнообразиться на тысячу ладов. Вместо оловянного блюдца можно пользоваться блюдцем какого-либо другого прочного металла, а вместо серы можно брать какое угодно смолистое тело. Окажется, что при всех этих вариациях явление будет всегда одним и тем же.

Отсюда непременно следует: при получении электричества, даже путем плавления смолистых тел, оба электричества возникают всегда одновременно.

Возможно ли после этого сомневаться, что тот же закон имеет место и по отношению к турмалину? Ибо едва только узнаешь, что этот камень, дабы стать электрическим, нуждается лишь в известной степени нагревания, легко постигаешь, что он не смог бы приобрести этого свойства без того, чтобы одна из его сторон не стала положительно-, а другая — отрицательно-электрической. Если электрическая материя собирается в одной из его сторон, то откуда она могла быть извлечена, если не из другой? Следовательно, если одна — положительно-электрическая, то разве другая не должна быть отрицательно-электрической?

Это явление парадоксально, однако я нахожу его тем более примечательным, что оно служит доказательством того, что даже в турмалине, проявления которого суть, к тому же, так удивительны, природа отменно согласуется с выводами из теории Франклина.

Делая вышеупомянутые опыты, я имел случай сделать несколько наблюдений, кои хотя и не связаны непосредственно с материей, обсуждаемой нами, однако представляются мне достойными быть приведенными здесь.

Если потереть друг о друга два тела, как мы об этом говорили выше, то одно становится положительно-электрическим, другое — отрицательно. Вне всякого сомнения, что имеются какие-то законы, определяющие это, но я не смог открыть их, несмотря на все мои усилия.

Я тер, например, медную пластинку о серную, результат был переменный, сначала медь была положительно-электрической, а сера—отрицательно, а повторив опыт через четверть часа, я нашел как раз обратное. Точно так же, когда я потер две стеклянных плитки одну о другую, то они стали — то одна, то другая — положительно-электрическими. Такая изменчивость результатов проявляется в большинстве этих

опытов, и я могу сделать исключение лишь для следующих случаев:

1) если потереть серу или другое смолистое тело о гладкое стекло, стекло станет положительно-, а смолистое тело — отрицательно-электрическим;

2) если потереть гладкое стекло о металл, стекло делается положительно-электрическим, а металл — отрицательно;

3) если потереть матовое стекло о гладкое, то первое делается отрицательно-электрическим, а второе — положительно.

Во всех других случаях господствует, повидимому, непостоянство, причину которого я напрасно искал до сего времени. Я исследовал, не может ли оказаться причиной объем, поверхность и теплота тел, но после большого числа бесплодных попыток от этого отказался.

Должен то же сказать об электричестве, кое порождается от плавления смолистых тел. Я налил расплавленной серы в металлическое блюдце и нашел серу — отрицательно-, а блюдце — положительно-электрическими; но, проделав тот же опыт в другой раз, я увидел как раз обратное, так и не сумев назвать причину этой странности. Я наблюдал также много других весьма интересных явлений, о которых говорил в моем латинском труде, озаглавленном „Tentamen Theoriae Electricitatis et Magnetismi“, Cap. I, §§ 55—64, куда я и отсылаю моих читателей.[8]

До сей поры турмалин может казаться чудом природы, единственным в своем роде, но путем экспериментирования мы найдем, быть может, что и другие тела, хотя не имеют таких же точно качеств, но обладают близкими к ним. Лично я заметил в обыкновенной сере кое-что, имеющее к этому отношение, хотя и отдаленное.

Выше я сказал, что после того как выливал расплавленную серу в металлическое блюдце, часто случалось, что сера становилась положительно-, а блюдце — отрицательно-электрическими. В этом случае я снова клал серу в блюдце

и через 12 примерно часов я находил, что сера самопроизвольно становилась отрицательно-электрической, а блюдце — положительно.

Вот вам явление, имеющее некоторое отношение к явлению в турмалине. Сера, как и турмалин, переходит от положительного электричества к отрицательному без какой-либо внешней причины.

Я нашел также и в другом случае связь между проявлениями турмалина и серы.

Я часто пытался добыть электричество в каком-либо другом теле тем же, что и для турмалина, способом — простым нагреванием, но мне это никогда не удавалось, и до сей поры я не знаю ничего, что походило бы в этом пункте на турмалин. Я счел нужным приписать причину этого слишком большой однородности частей тех тел, с коими я делал опыты, ибо непонятно, каким образом, если части одного тела совершенно однородны, электрическая материя покидает одну из них, чтобы скопиться в другой: обстоятельство, без которого совершенно невозможно произвести электричество одним нагреванием. Что же, думал я, если два тела различного типа, напр. сера и металл, были бы так соединены, что их поверхности точно соприкасались бы и составляли, так сказать, одно тело, то электрическая материя, когда эти тела были бы нагреты, разве не перешла бы из одного тела в другое и разве не возникло бы от этого электричество? Я произвел опыт, и он мне удался.[9]

Опыт III

Я наугад смял оловянное блюдце AB, придав неправильность его форме таким образом, чтобы кусок плавленой серы смог в нем расположиться только определенным образом. Затем я влил в него серу, к которой, после того как она остыла, я приклеил ручку.

Вынув серу из блюдца, я тщательно уничтожил все электричество, кое приобрели как сера, так и блюдце; я

разогрел серу и снова положил ее на блюдце. Примерно после 6 часов я нашел серу отрицательно-, а блюдце положительно-электрическими.

Этот опыт заставляет меня сомневаться в том, что плавление смолистых тел является непосредственной причиной электричества, полученного таким способом. Плавление, повидимому, служит лишь для того, чтобы сделать смолистые тела жидкими и, таким образом, годными приспособиться всеми точками к поверхности сосуда, в который их вливают. Получение электричества кажется мне скорей исключительно следствием теплоты.

Я уже говорил об этих экспериментах в речи, которую держал в публичном Собрании Академии 5 сентября 1758 г., изданной под заглавием „Sermo academicus de similitudine vis electricae et magneticae“.[10]

ПРИЛОЖЕНИЯ



ЭПИНУС И ЕГО ТРАКТАТ О ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И МАГНЕТИЗМА

I

Франц Ульрих Теодор Эпинус принадлежит к числу крупнейших физиков XVIII в. В 1757 г. „астроном и член Академии наук в Берлине" тридцатидвухлетний Эпинус был приглашен в Россию на должность профессора и действительного члена Петербургской Академии Наук. Согласно условию контракта он мог по прошествии пяти лет либо возобновить договор, либо получить „абшит[1] и пашпорт, с чем ему ехать возвратно в его отечество без задержания".[2] Но в России Эпинус обрел второе отечество. Здесь обосновался он и прожил 45 лет до самой смерти (1802), отдав новой родине все свои знания и труды.

Эпинус предложил свои услуги России незадолго до начала Семилетней войны (1756—1763), вызванной авантюристической, агрессивной политикой прусского короля Фридриха и стоявшей за его спиною Англии. Эпинус, очевидно, хорошо понимал, что завоевательные намерения Фридриха, возомнившего себя „великим", не сулят Пруссии ничего, кроме великого позора и дальнейшего обнищания. С другой

---

1 Увольнение.

2 Арх. Акад. Наук СССР, ф. 21, кн. 221, л. 476.

стороны, Эпинус успел уже, вероятно, убедиться, что в раздробленной и экономически отсталой в ту эпоху Германии, раздиравшейся распрями между корольками и князьками, ему не удастся развернуть свои выдающиеся способности и осуществить свои широкие научные замыслы. Неудивительно, что взоры его обратились именно в сторону Петербурга. Западноевропейские ученые XVIII в. с изумлением и завистью взирали на быстро развивавшуюся со времени Петра I науку в России. Петербургская Академия успела уже за три десятилетия своего существования занять одно из ведущих мест в мире науки. Появление каждого великолепно изданного тома „Новых Комментариев С.-Петербургской Академии Наук", выходивших на латинском языке, с замечательными трудами М. В. Ломоносова, Г. В. Рихмана, Л. Эйлера, С. П. Крашенинникова, И. Г. Гмелина, Ж. Н. Делиля и многих других, представляло собою выдающееся событие в науке. Каждый ученый того времени считал своим долгом поднести Петербургской Академии Наук опубликованный им труд, надеясь таким образом получить ее авторитетное признание и, быть может, удостоиться когда-нибудь приглашения в Россию. Конкурсы на наиболее актуальные, животрепещущие темы, объявлявшиеся Петербургской Академией, и крупные денежные премии, щедро выдававшиеся победителям этих конкурсов, привлекали к себе внимание и старание величайших ученых мира.

Средства, которые отпускало в ту эпоху царское правительство на содержание Петербургской Академии Наук, являлись ничтожными по сравнению с расточительной роскошью двора и были бесспорно недостаточны для удовлетворения непрерывно возраставших потребностей науки в только что пробудившейся от вековой отсталости, быстро развивавшейся необъятной Петровской России. Однако материальное положение Петербургской Академии Наук по сравнению с зарубежными академиями того времени было блестящим. Достаточно хотя бы напомнить, что Петербургская Академия, единственная

среди всех академий той эпохи, располагала обширной библиотекой, прекрасно оборудованным физическим кабинетом, первоклассной химической лабораторией, хорошей типографией и граверной палатой и превосходными механическими и оптическими мастерскими.

Все эти обстоятельства, вместе взятые, привлекли взоры молодого Эпинуса к Петербургу. Благодаря похвальному отзыву Л. Эйлера и „хорошему свидетельству" русских ученых С. К. Котельникова и С. Я. Румовского, а также благодаря хлопотам своего зятя — постоянно проживавшего в Петербурге купца Эшенбаха — Эпинус добился приглашения в Россию.

В России Эпинусом была развернута исключительно разносторонняя и чрезвычайно плодотворная деятельность. Среди многочисленных трудов по физике, математике, метеорологии и астрономии, опубликованных им в Петербурге, главное место занимает фундаментальный трактат „Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi" („Опыт теории электричества и магнетизма"), снискавший его автору всемирную известность.

Всеобщее внимание привлек к себе выпущенный им в 1762 г. в Петербурге блестящий полемический „Сборник различных мемуаров о турмалине". Наконец, здесь в Петербурге Эпинус в 1784 г. изобрел и сконструировал свой знаменитый, первый в истории ахроматический микроскоп. Интересно отметить, что Эпинус не пытался воспользоваться этим изобретением для собственного обогащения, а широко оповестил научные, особенно медицинские организации о его устройстве и преимуществах. Эпинус писал по этому поводу: „На мой взгляд, всякое полезное изобретение представляет собою сокровище, принадлежащее всему человечеству, а не его изобретателю, который был бы неправ, претендуя на исключительное право владения им". Это изобретение Эпинуса широко и безвозмездно использовалось предприимчивыми конструкторами, выпускавшими большие партии микроскопов, но Эпинус никогда не предъявлял к ним никаких претензий. Он стремился

лишь к тому, чтобы и другие занялись улучшением этого изобретения.[1] Итак, научная работа Эпинуса в Петербурге была исключительно успешна. Однако ему не удалось должным образом развернуть работу Физического кабинета Академии Наук, за что его не раз горько упрекал Ломоносов.

Но деятельность Эпинуса отнюдь не ограничивалась одной лишь Академией Наук. Уже в 1760 или 1761 г. он был назначен директором по учебной части Сухопутного шляхетского кадетского корпуса.

Далее, в 1765 г. Екатерина II „рассудила за благо употреблять его при учении" наследника престола цесаревича Павла и специальным указом освободила Эпинуса от обязанностей профессора Академии, сохранив за ним звание действительного члена. Но, помимо преподавания, на Эпинуса возлагались Екатериною и другие весьма разнообразные обязанности. Так, по словам воспитателя наследника С. Порошина, Эпинус, едва начав читать Павлу курс лекций по физике, тотчас же был вынужден прервать занятия на два или три месяца „за положенным на г. Эпинуса от Иностранной коллегии делом".[2] Имеются также сведения, что в 1780 г. во время англо-американской войны Эпинус был привлечен Екатериною к разработке декларации о морском „вооруженном нейтралитете".[3] В 1782 г. Эпинус был включен в Комиссию по учреждению народных училищ. Разработанная им знаменитая „Записка об организации в России низшего и среднего образования" была принята Комиссией и легла в основу всей системы народного образования.[4]

[1] С. Л. Соболь. История микроскопа и микроскопических исследований в России в XVIII веке. Изд. Акад. Наук СССР, 1949, стр. 339.

[2] С. Порошин. Записки, служащие к истории... цесаревича Павла Петровича (1764—1765). СПб., 1881, стр. 279.

[3] Этот акт устанавливал права нейтральных судов на море защищать себя оружием. См.: История дипломатии, I, стр. 290. Об участии Эпинуса см.: Castéra. Histoire de Cathérine II, t. 3, p. 78.

[4] А. А. Толстой. Городские училища в царствование императрицы Екатерины II. Зап. имп. Акад. Наук, т. 54, 1887.

Таким образом Эпинус вошел в историю не только как выдающийся петербургский физик, но и как крупный деятель на поприще народного просвещения России XVIII в. Общественно-политическая деятельность Эпинуса изучена пока, к сожалению, совершенно недостаточно.

В 1798 г. Павел I освободил Ф. У. Т. Эпинуса от всех должностей, произведя его в тайные советники и сохранив за ним его жалование. Эпинус удалился на покой в Юрьев (Тарту), где и скончался 10 августа 1802 г. в возрасте 78 лет. Известный физик Г. Ф. Паррот (1767—1852) произнес о нем надгробную речь. Ни личных бумаг, ни одного портрета Эпинуса до сих пор обнаружить не удалось.

II

Для того чтобы отчетливо представить себе место, занимаемое Эпинусом в физике XVIII в., необходимо прежде всего вспомнить состояние учения об электричестве и магнетизме в ту эпоху.

В своем прибавлении к „Волфианской експериментальной физике“, вышедшей на русском языке в 1746 г.,[1] М. В. Ломоносов указывает: „В те времена, когда господин Вольф писал свою физику,[2] весьма мало было знание о електрической силе, которая начала в учоном свете возрастать славою и приобретать успехи около 1740 года“.[3]

Сороковые годы XVIII в. действительно ознаменовались улучшением экспериментальной техники и открытием большого числа новых опытных фактов в области электричества. Так, была усовершенствована электростатическая машина, служившая единственным генератором электричества, изобретена лейденская банка, позволившая концентрировать зна-

[1] Перевод книги Х. Вольфа: Physica experimentalis. Halae, 1727.

[2] Т. е. в 1725—1726 гг.

[3] Б. Н. Меншуткин. Труды М. В. Ломоносова по физике и химии. Изд. Акад. Наук СССР, 1936, стр. 159.

чительные количества электричества, открыто стекание электрического заряда с острий, установлено различие между разными телами в отношении их способности проводить электричество, и т. д. и т. п. Однако все еще сохранялся грубо качественный характер всех опытных исследований.

Такой же грубо качественный описательный характер носили и бесчисленные теории электричества того времени. В них не было даже попыток математических расчетов. Подобно другим разделам физики, область теории электричества являлась ареной борьбы двух направлений: картезианского и ньютонианского. Первоначально преобладали картезианские теории истечения, основанные на механическом материализме Декарта. Они рассматривали наблюдаемое на опыте взаимодействие наэлектризованных тел как результат механического давления или удара со стороны потоков, или вихрей „тонкой электрической материи". Нередко эти теории отождествляли „электрическую материю" с „материей огня" или с „материей тепла", переплетая картезианские идеи со шталевой теорией флогистона, с вольфовой теорией теплорода, а нередко и просто с самыми фантастическими выдумками. Все эти теории отличались полным произволом в выборе исходных положений, но все они так или иначе претендовали, подобно труду физика Бозе,[1] на окончательное открытие „причины и подлинной теории электричества".

В то время как картезианцы измышляли все более и более сложные механические модели потоков и вихрей для объяснения природы как электрических, так и магнитных явлений, ньютоновы механика и теория тяготения все глубже проникали и все прочнее укрепляли свои позиции в науке. Все яснее становилось каждому, что малое число основных положений, из которых исходил Ньютон, и его формальный

[1] Bose. Recherches sur la cause et sur la véritable théorie de l'électricité. Freiberg, 1745.

отказ от изыскания внутреннего механизма тяготения не только не помешали, а даже, наоборот, позволили ему открыть основной феноменологический закон тяготения и создать стройную, математически строгую научную систему и в механике, и в астрономии. Первую попытку использования ньютоновского формализма в области электричества сделал в 1751 г. Франклин.

Исходя из сравнительно немногих предпосылок и не вдаваясь во внутренний механизм электрического поля, он сумел объединить в своей теории большое число разрозненных экспериментальных фактов, опираясь на многочисленные собственные опытные изыскания. Необходимо, однако, подчеркнуть что и Франклин, подобно большинству своих западноевропейских современников, не делал никаких количественных измерений в своих опытных исследованиях, а в своей теории не сформулировал никаких количественных закономерностей и не произвел никаких математических расчетов. Более того, он даже не ставил перед собою такого рода проблемы. Обнаружив, что одно и то же тело может быть наэлектризовано по-разному, в зависимости от разнообразных условий эксперимента, Франклин обозначил одно электричество „положительным“, другое „отрицательным“. Отсюда он сделал дальнейший вывод, что оба электричества должны быть как-то между собою связаны. И Франклин предположил, что, повидимому, во всех телах существует электрическая материя, причем, если количество ее не ниже и не выше определенной, характерной для каждого данного тела нормы, то оно никак не обнаруживает себя. Положительная электризация заключается, по Франклину, в сообщении телу избыточного (против нормы) количества электричества, отрицательная — в снижении содержащегося в нем электричества ниже нормы. Учитывая опытный факт, что одноименные заряды отталкиваются, а разноименные притягиваются, Франклин приходит к следующему выводу:

„Электрическая материя тем отличается от обычной материи, что части последней притягиваются друг к другу, между тем как части первой взаимно отталкиваются...".

„Хотя части электрической материи одинаково сильно взаимно отталкиваются, они, однако, притягиваются всякой другой материей".[1]

Следуя методу Ньютона и не вдаваясь в рассмотрение внутреннего механизма этих притяжений и отталкиваний, т. е. не изучая электрического поля, Франклин вынужден был все же принять в качестве рабочей гипотезы (которую сам признавал „несколько сомнительной"), что заряженное тело окружено „электрической атмосферой".

Эта чисто описательная и, как уже отмечалось, лишенная количественной основы теория получила широкое распространение в ту эпоху, так как, при всех своих недостатках и ошибках, о которых речь будет далее, она выгодно отличалась от явно фантастических „теорий истечения" и давала, по крайней мере, связное, единообразное толкование очень большому числу физических явлений.

Идеи Франклина встретили, однако, резкие возражения со стороны всех тех, кто считал заведомо невозможным приписывать электрическим частицам „скрытую" (т. е. принципиально необъяснимую) способность взаимодействовать друг с другом „на расстоянии". Противники теории Франклина отчетливо понимали, что, хотя Франклин как будто пошел по пути Ньютона, отказавшись вникать в механизм взаимодействий между зарядами, однако он вовсе не добился этой ценою тех действительно неоспоримых успехов, которых достиг Ньютон в своей теории тяготения и в небесной механике. Противники Франклина указывали, что, отказавшись от обсуждения явлений, происходящих в пространстве, окружающем заряженные тела, он создал лишь новую лазейку для возрождения средневекового мракобесия и агно-

---

[1] B. Franklin. Letters on Electricity. London, 1751.

стицизма и не дал, в сущности, ничего, кроме сомнительной, хотя и правдоподобной картины явлений, якобы происходящих внутри заряженных тел.

Почти полное отсутствие количественных измерений и попыток количественных теорий, характерное для состояния науки об электричестве в Западной Европе и Америке в первой половине XVIII в., не давало возможности не позволяло не только решить этот спор, но и наметить путь к его разрешению. Таково было в эту эпоху состояние науки об электричестве за рубежом.

Между тем как в Западной Европе исследования электричества велись уже с конца XVI в., в России экспериментальные исследования электричества были начаты Г. В. Рихманом и М. В. Ломоносовым в 1744 г. И несмотря на то, что Россия вступила в эту область науки на полтораста лет позже, чем Западная Европа, исследования Рихмана и Ломоносова уже с первых шагов велись на более высоком научном уровне, чем у их зарубежных современников. С самого начала русские физики поставили перед собою задачу количественных измерений „электрической силы". Об этом свидетельствуют дошедшие до нас собственноручные записи Г. В. Рихмана, на основе которых молодой адъюнкт М. В. Ломоносов составил докладную записку, по всей вероятности предназначенную для двора Елизаветы и озаглавленную:

„Наивящего примечания достойные электрические опыты".[1] В этой записке между прочим сказано: „Весами можно весить электрическую силу, однако сие еще в действие не произведено". Использованию этой идеи препятствовали следующие обстоятельства, обнаруженные во время экспериментов: „Чашка у весков притыкается к железной плите, ежели та или другая из них наэлектрена, и оттого происходит огонь с немалым треском". Но Ломоносов тут же отмечает и другой, предложенный Рихманом, метод измерения: „Отвешен-

---

[1] Б. Н. Меншуткин, ук. соч., стр. 189—190.

ная нитка, которая показывает бо́льшую или меньшую электрическую силу, еще в сем случае не употреблена". Следует особо подчеркнуть, что в записке говорится об „отвешенной нитке", т. е. о нитке с заранее определенным весом. В самом деле, только при заранее отвешенной нити можно действительно измерить электрическую силу, отклоняющую нить от вертикали, выразив ее через силу тяжести нити. В этом случае отвешенная нитка представляет собою как бы электрические микровесы.

В замечательной работе Г. В. Рихмана „De electricitate in corporibus producenda nova tentamina" („Новые данные о возбуждении электричества в телах"),[1] представленной в Академию 29 марта 1745 г., подробно изложены те самые опыты, которые кратко упомянуты в докладной записке Ломоносова как „наивящего внимания достойные". Среди них описано и устройство нового измерительного прибора, названного сначала „указателем", а позднее „электрометром". В записке Ломоносова описана идея, которая „еще в сем случае не употреблена"; в упомянутой статье Рихмана эта идея воплощена в новом приборе. „Указатель", как его называет Рихман, состоял из изолированной вертикальной металлической линейки, к верхнему концу которой привязана льняная нить строго определенного веса, свисающая вниз параллельно линейке. „Вблизи линейки. . ., — писал Рихман, — я привязал льняную нить. . . в 2 лондонских фута длиною и такой толщины, что кусок ее в 456 лондонских дюймов весил 16 гран, следовательно льняная нить. . . должна была при взвешивании обнаружить $\frac{384}{456}$ одного грана".[2] При подаче электрического заряда на

[1] Comm. Acad. Sc. Imp. Petropolitanae, v. XIV (1744—1746), 1751, p. 299.

[2] 1 фут = 12 дюймов; 1 фут = 0.3048 м; 1 дюйм = 2.540 см; 1 гран = $= \frac{1}{72}$ драхмы; 1 драхма = 3.82 г; 1 гран = 0.053 г.

прибор нить отталкивалась от одноименно с нею заряженной линейки и отклонялась от вертикали. Угол отклонения нити измерялся на деревянном квадранте, снабженном делениями и укрепленном на столе, и служил мерою „электрической силы“. Рихман настоятельно подчеркивал, что показания его прибора будут повторимы лишь в том случае, если всякий раз применяется нить одинакового веса. „Однако, — заметил Рихман, — я еще до тех пор не буду утверждать, что этим указателем можно точно измерять электричество, пока он не будет сделан более совершенным и пока не будет развита теория электрического вихря“.[1] Из этих слов, написанных в 1745 г., видно, с какой требовательностью подходили русские физики того времени к количественной стороне измерений. В той же работе Рихмана приведены и попытки измерять электрическую силу весами: „Я также воспользовался весами для измерения силы и посредством наивысшего электричества, которое мог возбудить мой шар,[2] я поднял $2^1/_2$ драхмы на 2 лондонских дюйма“. Таким образом, уже в 1745 г. Рихманом было осуществлено в Петербурге первое абсолютное измерение силы, вызываемой электричеством. Принцип, использованный в „указателе“ Рихмана, получил, как известно, широчайшее распространение и применяется по сей день, а принцип весов используется в современном абсолютном электрометре: Все дальнейшие исследования электрических явлений, проводившиеся в Физическом кабинете Петербургской Академии Наук и в лаборатории, созданной во дворце Елизаветы, и в домашних лабораториях Ломоносова и Рихмана, носили количественный характер.

В посмертной статье Рихмана, написанной им в 1752 или 1753 г., приведено описание и изображение законченной конструкции „указателя“ — „электрометра“. При этом Рихман указывает, что его не удовлетворяет „указатель“, изме-

---

[1] Т. е. электрического поля.

[2] Стеклянный шар электростатической машины.

ряющий электрическую силу в относительных единицах, и он намерен превратить его в „абсолютный электрометр“.[1]

В Западной Европе первый электроизмерительный прибор был изобретен французскими физиками Ж. П. Ле-Руа и П. Д'Арси. „Электрическая сила“ измерялась в нем по глубине погружения ареометра в сосуд с водою, металлическое основание которого соединялось с заряженным телом. Первое сообщение об этом приборе было представлено в Парижскую академию наук 16 апреля 1749 г.,[2] т. е. через 4 года после представления Рихманом первого сообщения об его „указателе“. Ле-Руа и Д'Арси произвели со своим прибором ряд опытов, однако широкого распространения и применения он не получил, и примерно вплоть до 1760 г. все исследования по электричеству в Западной Европе и Америке носили грубо качественный, приближенный характер. Таким образом, можно утверждать, что в конце 1744 или начале 1745 г. Рихман сконструировал первый в истории электроизмерительный прибор. Переход от грубо качественных описательных исследований к количественным измерительным исследованиям представляет собою в любой области науки чрезвычайно важный переломный момент. Изобретение электрометра Рихмана и широкое использование его Рихманом и Ломоносовым явилось началом принципиально новой фазы развития науки об электричестве.

Насколько широко были развиты в ту эпоху в России количественные измерения, можно заключить хотя бы из того факта, что когда в 1752 г. в Петербурге получили известия о работах Франклина по атмосферному электричеству, Рихман и Ломоносов весьма быстро соорудили грандиозные по тому времени специальные электроизмери-

---

[1] Novi Comm. Acad. Sc. Imp. Petropolitanae, t. IV (1753), 1758, p. 301.

[2] D'Arcy. Mémoire sur l'Electricité, contenant la description d'un Electromètre ou d'un instrument, servant à mesurer la force électrique. . . Mém. Acad. Roy. Sc. (1749), Paris, 1753.

тельные установки для количественной проверки его результатов. В этих установках металлический стержень, выпущенный наружу сквозь отверстие в кровле, защищенное стеклом, заканчивался внутри помещения большим электрометром. Одна установка такого рода была собрана в домашней лаборатории Рихмана, другая — в доме Ломоносова. С этой новой аппаратурой русские ученые провели немало замечательных экспериментов и наблюдений в течение лета 1752 г.

Весною 1753 г. Ломоносов и Рихман соорудили в своих домашних лабораториях новые усовершенствованные измерительные установки, которые Ломоносов называл „громовой машиной". Они ожидали, повидимому, от предстоящих летом исследований атмосферного электричества крупных и решающих количественных результатов.

Поэтому, когда в мае 1753 г. Академическое Собрание обсуждало мероприятия, связанные с предстоящим торжественным публичным актом 6 сентября, было решено, что Рихман выступит с докладом, а Ломоносов с содокладом на тему о природе электричества. 31 мая 1753 г. Ломоносов сообщал Шувалову в письме: „Оный акт я буду отправлять с господином профессором Рихманом, он будет предлагать опыты свои, а я теорию и пользу, от оной происходящую, к чему уже я приготовляюсь". Кроме того, в протоколе Академического Собрания записано: „Так как вопрос, который подлежит опубликованию для получения премии, должен быть выбран на ближайшем заседании и должен относиться к материи такого же рода, как та, изложить которую взял на себя его благородие Рихман, было признано наиболее подходящим, чтобы он, после того как изъяснит явления и законы электричества, в заключении предложил и вопрос и премии".

Таким образом, предстоящее торжественное Общее Собрание Петербургской Академии Наук должно было явиться знаменательной вехой в истории науки об электричестве.

Но 26 июля 1753 г. удар молнии поразил насмерть Г. В. Рихмана во время исследований.

Гибель выдающегося русского ученого на трудовом посту произвела ошеломляющее впечатление на весь ученый мир. „Умер господин Рихман прекрасною смертью, исполняя по своей профессии должность. Память его никогда не умолкнет“,[1]—писал Ломоносов, излагая обстоятельства катастрофы. Гибель Рихмана явилась тягчайшей потерей для науки вообще и особенно для русской науки. И когда после летних каникул Академия вновь собралась, то возник вопрос, как быть с актом 6 сентября. Ни текста доклада, ни текста конкурсной задачи в бумагах Рихмана, повидимому, не оказалось. М. В. Ломоносов взялся выступить с докладом и с формулировкой конкурсной задачи.

На публичном акте Академии, состоявшемся 26 ноября 1753 г., М. В. Ломоносов произнес знаменитое „Слово о явлениях воздушных, от електрической силы происходящих“,[2] в котором он изложил свою теорию атмосферного электричества, основанную на конвекции воздушных масс, и высказал вкратце свои воззрения на природу электричества. Затем Ломоносов сформулировал тему и наметил программу конкурсной задачи. Тема задачи гласила: „Сыскать подлинную електрической силы причину и составить точную ее теорию“. Последним сроком представления работ на конкурс был объявлен 1755 г. Победителю конкурса была обещана премия в „100 червонных“.

Как само заглавие конкурсной задачи, так и содержание написанной Ломоносовым программы[3] отчетливо показывают, что русские ученые не одобряли тех многочисленных теоретических работ, которые в то время появлялись на Западе,

---

[1] Б. Н. Меншуткин, ук. соч., стр. 170.

[2] М. В. Ломоносов, Соч., т. IV, Изд. Акад. Наук, СПб.—Л., 1891—1948, стр. 296.

[3] Б. Н. Меншуткин, ук. соч., стр, 191.

и считали их совершенно неудовлетворительными. И хотя многие общепризнанные западные ученые претендовали на открытие ими причины и подлинной теории электричества, Петербургская Академия Наук в 1753 г. авторитетно заявила устами Ломоносова, что она считает эту важнейшую физическую задачу до сих пор нерешенной, призывает ученых всего мира к сосредоточенной глубокой и критической работе над ее решением и готова этому материально содействовать.

Таким образом, русские ученые отвергли и бесчисленные „теории истечения" картезианцев и модную ньютонианскую теорию Франклина, поскольку в них, как отметил Ломоносов, „некоторые к составлению електрической теории самые нужнейшие вещи не довольно наблюдены были". М. В. Ломоносов не только подверг резкой критике существующие теории, но и наметил пути к построению новой „подлинной теории электричества".

Во-первых, он указал на несостоятельность теорий, смешивающих электрическую материю с огнем. „Електрические явления много имеют общего со свойствами огня, много также и совсем противного... Того ради, по нашему мнению, должно осторожно смотреть и различать, что в причине происхождения електрической силы и огня есть общее и что особливое".

Во-вторых, он указал на то обстоятельство, что хотя все тела делятся в отношении электричества на два вида,[1] по всем своим прочим свойствам они могут быть разделены на множество разнообразных видов. „Того ради, — говорит Ломоносов, — для изобретения подлинной сея материи теории за полезное почитаем и сие, чтобы качества обоего рода тел с осторожностию рассмотреть и приметить, которые из них всем телам, имеющим первоначальную Електрическую силу (т. е. всем диэлектрическим телам, — *Я. Д.*)

---

[1] Диэлектриков и проводников, в нашем обозначении.

и которые всем телам, имеющим производную (т. е. телам, проводящим электричество, — *Я. Д.*) суть общие".[1]

В-третьих, рассматривая природу электрического поля с позиций механистического материализма, Ломоносов не сомневался в том, что свойства электрического поля обусловлены механическим движением материи, однако он осторожно подчеркнул, что макроскопические потоки и вихри электрической материи, фигурировавшие во всех картезианских теориях, не являются единственно возможным видом механического движения. „Представить можно три разные движения тончайшей електрической материи, которая сквозь скважины тел ходит, то есть: прохождение, вертение, трясение. Здесь равным образом примечать надобно, сколько и которые движения роды довольны к произведению електрических явлений быть могут". Ломоносов подчеркнул, что „все сие не должно почитать за правило,... но за одно только напоминание, которое всякому оставляется на собственное его рассуждение".

Эти замечания привели Ломоносова к собственной теории, основы которой он, как уже указывалось, сформулировал в „Слове о явлениях воздушных, от електрической силы происходящих".[2] Учитывая, что как электризация, так и нагревание возникают в результате трения, Ломоносов связал теорию электричества с высказанной им ранее гипотезой о том, что теплота обусловлена вращением частиц вещества около их собственных осей. Но Ломоносов подчеркнул, что „теплота требует сильного к движению грубых, електрическая сила — нежного к побуждению тончайших частиц, чтобы около центров своих вертелись". Иными словами, Ломоносов предположил, что электричество обусловлено вращением частиц эфира вокруг своих осей. Эта идея смутно высказанная в „Слове о явлениях воздушных", была

---

[1] Б. Н. Меншуткин, ук. соч., стр. 191.
[2] М. В. Ломоносов, Соч., т. IV, стр. 296.

позднее (1756) гораздо более четко сформулирована Ломоносовым в неопубликованной „Теории электричества, разработанной математическим способом“.[1] Эта теория дошла до нас в двух отрывках на латинском языке. Один представляет собою 126 кратких тезисов или заметок. Другой — незаконченную рукопись текста статьи. В первом отрывке приводятся соображения, заставившие Ломоносова решительно отвергнуть любые „теории истечения“.: „27. Так как электрическая материя, подобно солнечным лучам, не приводится в движение ветром и не рассеивается дутьем из меха, то она не истечение“. Отождествление электрической материи с эфиром обосновывается Ломоносовым во втором отрывке. Здесь сказано об электрических явлениях следующее: „§ 23... Так как эти явления имеют место в пространстве, лишенном воздуха, а свет и огонь происходят в пустоте и зависят от эфира, то кажется правдоподобным, что эта электрическая материя тождественна с эфиром. § 24... чтобы это выяснить, необходимо изучить природу эфира, если она вполне пригодна для объяснения электрических явлений, то будет достаточно большая вероятность, что они происходят от движения эфира. Наконец, если не найдется никакой другой материи, то достовернейшая причина электричества будет движущийся эфир“.

Теория электричества, предложенная Ломоносовым, существенным образом отличалась от картезианских теорий его времени тем, что она, во-первых, исключала существование особой материи электричества; во-вторых, сводила электрические явления к движению эфира; в-третьих, взамен макроскопических движений вводила микроскопические движения частиц эфира вокруг их собственных осей. Эту оригинальную теорию Ломоносова, намеченную им, как мы видели, в 1753 г., необходимо расценивать в исторической перс-

[1] Б. Н. Меншуткин, ук. соч., стр. 199—209. Под словами „математическим способом“ Ломоносов разумеет метод предложений и доказательств, применяемый в геометрии.

пективе как крупный шаг от теорий истечения электрической материи, господствовавших в физике XVIII в., к эфирным теориям электрического поля, характерным для физики XIX в.

Ф. Энгельс следующим образом охарактеризовал теории, в которых принимается, что „. . . электричество — это движение частиц эфира. . .“.[1]

„. . . в лежащей в основе всех их концепции заметен решительный прогресс: представление о том, что электричество есть воздействующее на молекулы тел движение частиц пронизывающего всю весомую материю светового эфира“.[2] И далее:

„Согласно этому представлению, при электрических явлениях действительно движется нечто вещественное, отличное от весомой материи. Но это вещественное не есть само электричество. Скорее наоборот, электричество оказывается в самом деле некоторой формой движения, хотя и не непосредственного, прямого движения весомой материи“.[3]

Когда Энгельс работал над „Диалектикой природы“, упомянутые труды Ломоносова не были изучены, он опирался на западноевропейских историков науки, которые утверждали, будто эфирная теория аналогична „высказанной уже в 1846 г. впервые Фарадеем гипотезе, что электричество — это движение некоей, заполняющей все пространство, а следовательно и пронизывающей все тела, упругой среды“. В настоящее время можно утверждать на основании документальных данных, что гипотеза эта была высказана впервые М. В. Ломоносовым, хотя и в несколько иной форме, за столетие до Фарадея. Правда, Ломоносов не закончил и не опубликовал написанной им „Теории электричества“, а лишь ограничился кратким изложением своих соображений. Поскольку в этой теории эфир принимался за носителя как световых, так и электри-

---

[1] Ф. Энгельс. Диалектика природы. 1948, стр. 90.

[2] То же.

[3] То же.

ческих явлений, Ломоносов надеялся найти непосредственное воздействие электричества на свет. Он писал в своих 126 заметках к „Теории электричества“: „Надо сделать опыт, будет ли луч света иначе преломляться в наэлектризованном стекле и воде“.[1] Неизвестно, ставились ли им подобные опыты, во всяком случае для нас теперь очевидно, что Ломоносов не мог бы обнаружить такого эффекта имевшимися в его распоряжении средствами. Возможно, что именно отрицательный результат этих попыток и заставил Ломоносова отказаться от дальнейшей работы в этом направлении. Может быть по той же причине Ломоносов даже не упомянул о теории электричества в своем „Конспекте важнейших теорем, которыми постарался обогатить естественные науки М. В. Ломоносов“. Действие электричества на свет столетие спустя тщетно пытался открыть Фарадей, но открытие им в 1849 г. магнитного вращения плоскости поляризации света в известной мере убедило его в справедливости эфирной теории. Лишь в 1875 г. Керром было обнаружено появление эллиптической поляризации света (т. е. двойного лучепреломления) под влиянием электрического поля, сначала в стекле, а затем в воде и других диэлектриках.[2] По этому поводу Ф. Энгельс в 1882 г. писал: „У эфирной теории можно уже отметить *один* бесспорный успех. Как известно, существует по крайней мере один пункт, в котором электричество прямо изменяет движение света“.[3]

Таким образом, высказанная впервые М. В. Ломоносовым в 1753—1755 гг. принципиально новая и революционная для своего времени концепция электричества, рассматривавшая электричество не как особую субстанцию, а как некоторую форму движения светового эфира, жила и развивалась в различных вариантах вплоть до конца XIX в.

---

[1] Б. Н. Меншуткин, ук. соч., стр. 194.
[2] Kerr, Phil. Mag. (4), 60, 1875, pp. 337, 446.
[3] Ф. Энгельс, ук. соч., стр. 90.

Итак, в науке об электричестве — как в области эксперимента, так и в области теории — Ломоносов и Рихман стояли на голову выше своих зарубежных современников.

В конкурсе на тему „Сыскать подлинную Електрической силы причину и составить точную ее теорию“ Ломоносов не имел права участвовать. На конкурс поступило в 1755 г. со всех концов мира 13 работ, из коих Петербургская Академия премировала одну, представленную под девизом „Счастлив, кто мог познать причины вещей“. При вскрытии запечатанного конверта автором работы официально оказался Иоганн-Альбрехт Эйлер, сын великого Леонарда Эйлера. Однако в собственноручном письме, присланном в Академию уже после объявления результатов конкурса, сам Леонард Эйлер признался в авторстве этой работы: „... так как я не знал, имею ли я право писать работу на премию, я передал ее моему сыну Иоганну-Альбрехту и поручил ему литературно обработать пересланное Вам сочинение“.[1] Таким образом, это премированное Академией сочинение[2] принадлежало Леонарду Эйлеру. Академия рекомендовала также к опубликованию поступившую на конкурс работу Павла Фризиуса.[3]

Работа Эйлера действительно заслуживает серьезного внимания. В ней прежде всего резко критикуются как теории, принципиально отказывающиеся от механистических объяснений поля, так и теории, основанные на допущении потоков гипотетической электрической материи. „Если первая ошибочная теория делает невозможным какое бы то ни было познание природы, то вторая заменяет истину праздными

[1] См. сб. „Леонард Эйлер“. Изд. Акад. Наук СССР, 1935, ст. С. Я. Лурье, стр. 156. Л. Эйлер, проживавший в то время в Берлине, являлся действительным членом Петербургской Академии и не знал поэтому, имеет ли он право участвовать в конкурсе.

[2] J. A. Euleri. Disquisitio de causa physica electricitatis ab Academia Scientiarum Imperiali Petropolitana praemio coronata. Petropoli, 1755.

[3] Pauli Frisii. De Existentia et motu aetheris, seu de Theoria electricitatis ignis et lucis. Petropoli, 1755.

и бредовыми выдумками ума", — писал Эйлер. Он отмечает, что мнение первых „опровергается многочисленными явлениями электричества, в которых обнаруживаются столь явные признаки некоей тонкой материи, что она даже производит действие на наши ощущения". Эйлер ставит прежде всего вопрос: какова природа этой материи? И продолжает: „... будет весьма полезно для полного торжества науки, если существование этой тончайшей материи будет установлено при помощи других явлений, дабы не казалось, что она придумана только ради одного электричества". Как убежденный сторонник механистического материализма Эйлер говорит: „Причины всех действий этой материи должны самым ясным образом быть выведены из истинных основ механики". Эйлер далее утверждает, что „тончайшая материя, производящая электрические силы, и есть эфир". Он показывает, что все то, что нам известно о свойствах эфира из оптических и других явлений, совершенно достаточно для объяснения электричества. Рассматривая свет как упругие волны в эфире, аналогичные упругим звуковым волнам в воздухе, Эйлер сравнивает скорость распространения света со скоростью распространения звука. Исходя из того, что скорость распространения света примерно в 600 000 раз больше скорости распространения звука (в действительности, это соотношение равно примерно 1 000 000), Эйлер приходит к выводу: „Если принять, что упругость эфира в 10 000 раз больше упругости воздуха, то разреженность его необходимо считать превышающей разреженность воздуха в 36 000 000 раз". Любопытно отметить, что это единственное вычисление в данной работе великого математика. Далее Эйлер развертывает свою теорию электричества. „Сущность электричества надо видеть в удалении или уменьшении количества эфира, которым обычно в естественном состоянии наполнены поры тела... Все без исключения явления электричества происходят в результате нарушения равновесия в эфире". Электрические действия, говорит Эйлер, „могут быть опре-

делены главным образом в зависимости от различия между телами именно от того, с большей или меньшей цепкостью они удерживают в себе эфир".

Таким образом, теория Л. Эйлера впервые объясняет все явления электричества посредством гипотезы о разрежениях и сгущениях эфира.

Являясь, очевидно, дальнейшим шагом вперед после первой эфирной теории, предложенной Ломоносовым, теория Эйлера содержит в себе уже все основные особенности будущих воззрений Фарадея—Максвелла. Заслуживает особого внимания то обстоятельство, что Петербургская Академия Наук правильно оценила и удостоила премии именно эту наиболее передовую и прогрессивную из всех представленных на конкурс работ. Однако нельзя забывать, что эта теория электричества, лишенная (как это ни удивительно для Л. Эйлера) попыток расчета, не давала возможности строгой проверки положенных в ее основу воззрений. Академия рекомендовала опубликовать работу П. Фризиуса „О существовании и движении эфира или теория электричества, огня и света", само заглавие которой ясно показывает, что и здесь речь идет о некоторой разновидности „эфирной теории". Но работа Фризиуса заметно уступает работе Эйлера.

Таким образом, попытка Петербургской Академии привела к появлению новых вариантов эфирной теории электричества, однако она вместе с тем отчетливо обнаружила, что теория электричества переживает тяжелый кризис. Конкурс не выявил также ни одной настолько выдающейся фигуры, чтобы она могла быть привлечена на петербургскую академическую кафедру физики, на место покойного Г. В. Рихмана. Академия в течение четырех лет искала достойного преемника Рихману. Наконец в конце 1756 г. представился подходящий кандидат в лице Ф. У. Т. Эпинуса. В докладе, посланном Академией в сентябре 1756 г. на имя своего президента графа К. Разумовского, было сказано об Эпи-

нусе: „А он имеет в ученом свете довольную репутацию, а г-н Эйлер хвалят его искусство, хотя об оном не предложил, и не желает его отпускать, также гг. Котельников и Румовский дают о нем весьма хорошое свидетельство; место же профессора физики после смерти профессора Рихмана еще порожнее и достойных охотников никого не сыскано“.[1] Таким образом, можно видеть, что при подборе преемника покойному Рихману было запрошено мнение как Л. Эйлера, проживавшего тогда в Берлине, так и русских ученых, из которых последний — Котельников — в свои студенческие годы, повидимому, лично принимал участие в исследованиях Рихмана и изготовлял чертежи к его статьям. Иными словами, Академия стремилась к тому, чтобы новый профессор физики действительно продолжил исследования электричества на том же высоком научном уровне, на котором их проводили Рихман и Ломоносов.

Эпинус был уже к тому времени известен своими экспериментальными исследованиями, а именно: во-первых, открытием пироэлектрического эффекта в кристаллах турмалина и, во-вторых, изучением механизма действия лейденской банки. Открытие пироэлектричества было опубликовано Эпинусом в мемуарах Прусской академии наук.[2] Работы по изучению механизма действия лейденской банки описаны в диссертации И. К. Вильке (1732—1796), ученика Эпинуса, впоследствии ставшего крупным физиком.[3] В этой работе Вильке подчеркивает, что декан факультета Эпинус совместно с ним производил некоторые исследования „и однажды ему помог“ своими советами.[4] Заметим здесь попутно, что Эпинус, повидимому, помогал Вильке далеко не „однажды“, вполне

---

[1] Архив Акад. Наук СССР, ф. 21, оп. 1, № 25.

[2] Aepinus. Memoire concernant quelques nouvelles Expériences Electriques remarquables. Mém. Acad. Roy., Berlin, 1757.

[3] J. C. Wilcke. De electricitatibus contrariis. Rostock, 1757.

[4] „quem in hisce laboribus socium quandoque habuisse plus semel profuit“ (p. 93).

правильно приписывал инициативу в этих исследованиях себе и, очевидно, поэтому в своем трактате ни разу даже не упомянул имени Вильке. Между тем, в этих работах заложено начало тех идей по электричеству, которые затем Эпинус изложил в своем трактате. Дальнейшие экспериментальные исследования, как уже указывалось, были осуществлены Эпинусом в Петербурге.

Такова краткая предистория трактата Эпинуса в области вопросов физики *электрических* явлений.

Положение, царившее в эту эпоху в области теории электричества, мало чем отличалось и от положения в науке о магнетизме, несмотря на то, что магнитные явления были известны с давних пор и, в противоположность электрическим, уже в течение веков практически использовались в компасах.

Изложение физики *магнетизма* в учебниках и научных исследованиях первой половины XVIII в. исходило, прежде всего, из установленного еще в 1600 г. Гильбертом коренного различия между электричеством и магнетизмом. В остальном, однако, изложение физики магнетизма было проникнуто такими же разнообразными беспочвенными картезианскими гипотезами, как и электрические теории, и опиралось на представления о „магнитной атмосфере“ и „магнитных потоках“ и „вихрях“. Исследователи полагали, что картины магнитных силовых полей, наблюдаемые с помощью железных опилок, являются экспериментальным доказательством существования потоков магнитной материи. Поэтому, если к середине XVIII в. в области электричества уже появились первые робкие попытки ньютоновской трактовки вопроса, то в магнетизме теории истечения господствовали тогда еще безраздельно.

М. В. Ломоносов в своем „Рассуждении о большой точности морского пути“ упомянул о „магнитной теории, тончайшей всех материи, что ни есть в физике“, указав, что в этой теории „паче всего“ следует применять принцип:

„из наблюдений установлять теорию, чрез теорию исправлять наблюдения“.[1] Итак, Ломоносов подчеркнул, что считает теорию магнетизма одной из наиболее тонких и трудных проблем физики, однако в „Слове о явлениях воздушных“ он не высказал никаких физических идей о природе магнетизма. Лишь позднее в своих, упомянутых нами, тезисах и 126 заметках о теории электричества, Ломоносов между прочим написал: „Тяготение, магнитные явления могут быть превосходно объяснены этой теорией совмещения“.[2] Теория „совмещения“ нигде, однако, в самом отрывке не упоминается. Эта теория была изложена Ломоносовым в других работах и предполагала, что имеется несколько родов эфира и что вращающиеся или колеблющиеся частицы данного вида эфира могут передавать свое движение не любым атомам вещества, а лишь тем из них, с которыми у этого вида эфира есть „сходство“. На принципе „совмещения“ Ломоносов строил свою теорию цветов и окраски тел. О магнетизме он ничего не пишет в этих сочинениях. Повидимому, притяжение атомов железа к железосодержащему „магнитному камню“ Ломоносов также объяснял совмещением, пытаясь и в магнетизме, как и в электричестве, заменить теорию истечения магнитной материи теорией движения частиц эфира. Но этой теории он не развил.

Между тем появились обстоятельные опытные исследования Майчелля (1750), Кэнтона (1751) и других, которые вносили серьезный прогресс в технику изготовления стрелок компасов. Теории магнетизма, основанные на истечении магнитной материи, ни в какой мере не позволяли истолковать и объяснить эти данные опытов. Таким образом, обнаружился глубокий разрыв между теорией, излагавшей различные домыслы о механическом движении магнитной материи вокруг магнитов, и практикой, настойчиво требовавшей разрешения ряда конкретных вопросов.

---

[1] М. В. Ломоносов, Соч., т. V, стр. 65.

[2] Б. Н. Меншуткин, ук. соч., стр. 198, заметка 123.

Петербургская Академия Наук, отчетливо понимавшая актуальность проблемы магнетизма, чутко и живо реагировала на создавшееся положение объявлением в 1757 г. конкурса на тему об искусственных магнитах, содержавшего следующие вопросы: „Каковы преимущества искусственных магнитов перед естественными? Каков наилучший метод их изготовления? Согласуются ли новые явления, обнаруженные у искусственных магнитов, с магнитной теорией в той мере, как она до сих пор их объясняет?“.

Когда Эпинус прибыл в Петербург, то выяснилось, что им задумана совершенно новая теория магнетизма, построенная на принципах, аналогичных теории Франклина для электричества. Таким образом, оказывалось, что в лоне самой Петербургской Академии Наук имеется теперь возможность создания крупного вклада в ту самую проблему, относительно которой объявлен был конкурс.

В начале своего пребывания в Петербурге Эпинус принял деятельное участие в работе Академии и, повидимому, уже в августе 1757 г. развернул экспериментальные исследования пироэлектрического эффекта, открытого им ранее в кристаллах турмалина,[1] и занялся подробной разработкой и опытным обоснованием своей теории электричества и магнетизма. Можно полагать, что по крайней мере часть своих опытных исследований он проводил на дому, поскольку в протоколе Академической Конференции за 15 сентября того же года было записано: „Славнейший Эпинус некоторую машину, переданную прежде собранию Ломоносовым, взял к себе домой“.

7 сентября 1758 г. на торжественном публичном акте Академии Эпинус выступил с замечательной речью, гласившей, в переводе на русский язык, „О сходстве електрической силы с магнитною“,[2] где впервые изложил в популярной

---

[1] См. стр. 417.

[2] См. стр. 387.

форме общие контуры своей теории электрических и магнитных явлений и описал некоторые относящиеся сюда опыты. Речь эта была произнесена по-латыни. Перевод ее на русский язык был осуществлен под руководством и при участии академика Степана Яковлевича Румовского.

Между тем приближался срок объявленного Академией конкурса на лучшую работу по методике изготовления искусственных магнитов и по теории магнетизма. Прежде чем приступить к присуждению премии на эту тему, Академия считала необходимым поскорее издать подготовляемый Эпинусом трактат, „дабы ученый мир узнал, какая работа по теории магнита идет в нашей Академии".[1] Выдающееся значение идей Эпинуса для теории магнетизма, отчетливо выявившееся из его публичной речи, заставило Академию торопить ученого с опубликованием его трактата прежде, чем будут рассмотрены немногие сочинения, поступившие на конкурс из-за границы. Да и сам Эпинус был заинтересован в скорейшем представлении своей работы. В довершение к спешке Эпинус тяжело заболел и прохворал всю зиму 1758/59 г.

Наконец, трактат был готов и сдан в печать. Так появилось на свет одно из самых замечательных произведений по теории электричества и магнетизма, капитальный латинский труд Эпинуса „Опыт теории электричества и магнетизма", положивший, как единодушно отмечают все историки, начало новой эпохе в истории теоретических исследований электричества и магнетизма. Недаром в посвящении, предпосланном трактату, Эпинус обратился к памяти Ньютона. Он вполне справедливо считал, что его „Tentamen" является первым опытом и примером приложения ньютоновского расчетного метода к теории электричества и магнетизма. Спешка и болезнь автора отразились на характере изложения трактата. „Этот труд, — заметили впоследствии Лаплас, Лежандр

[1] См. стр. 13.

и Кузен, — хотя и очень ясен, был, однако, несколько расплывчатым и недостаточно методическим".[1]

На единственном издании этой книги, вышедшей в качестве приложения к „Комментариям императорской СПб. Академии Наук" нет точной даты выпуска. В имеющемся в Библиотеке Академии Наук СССР экземпляре[2] почерком XVIII в. красными чернилами на титульном листе проставлено „1759".

Судя по введению автора, книга была им написана в 1758 г. Этому введению предпослано предисловие, написанное, очевидно, уже перед самым выпуском книги в свет, в октябре 1759 г. Как указано в предисловии, Эпинус не смог подвергнуть почти готовую рукопись „вторичной обработке и отделке", кроме того, он и „не считал это целесообразным", стремясь поскорее заявить свой приоритет и узнать мнение по этому поводу „опытных естествоиспытателей". Поэтому он рассчитывал на то, что читатели „простят некоторые недостатки книге и ее автору, открывающему новый путь к тайнам природы".

С другой стороны, автор отметил, что отделка этой книги являлась бы бесцельной в том случае, если предлагаемая им теория — ложна. „В таком случае я считал, что лучше мне заняться чем-либо другим, чем тратить бесполезно время на отделку ошибочной гипотезы". Однако эта скромная оговорка представляет собою всего лишь ораторский прием: автор нисколько не сомневался, что публикуемый им труд является крупным вкладом в науку. И он тут же подчеркнул, что даже в том случае, если бы предлагаемая им теория оказалась не согласной с истиной, тем не менее то новое,

---

[1] Exposition raisonnée de la théorie de l'Electricité et du Magnétisme, d'après les principes de M. Aepinus des Académies de Pétersbourg, de Turin etc. par M. l'Abbé Haüy. Paris, 1787.

[2] Шифр: $\frac{\text{VLd}}{1^b}$

что содержится в этой книге, не столь прочно связано с этой теорией, чтобы рухнуть вместе с ее крушением.

Итак, книга эта вышла из печати в конце 1759 г. или в самом начале 1760 г.

„Речь о сходстве електрической силы с магнитною" была опубликована на русском, немецком и латинском языках в 1759—1760 гг., т. е. почти одновременно с выходом в свет самого „Опыта". Таким образом, ученый мир получил почти одновременно краткое популярное изложение основных идей Эпинуса и его капитальный трактат, составляющий более 400 страниц.

III

Трактат Эпинуса издавался столь торопливо, что был выпущен не только без даты, но даже и без оглавления и без всякого предметного указателя. Две диссертации, следующие за гл. IV, служат дополнением и написаны после того, как была уже составлена вся книга. Основная часть трактата разбита на 390 параграфов, нумерация которых ведется независимо от разделения на главы. Дополнения также разбиты на параграфы, но имеют самостоятельную нумерацию.

Трактат Эпинуса, содержащий огромный фактический и расчетный материал, представляет немало трудностей для изучения ввиду тех недостатков, которые были отмечены выше. Для того чтобы облегчить читателю ознакомление с этим классическим произведением, мы здесь в дальнейшем излагаем его содержание достаточно подробно.

Введение к трактату

Во введении Эпинус, прежде всего, сообщает историю возникновения у него парадоксальной — с точки зрения физиков XVIII в. — идеи об аналогии между электрическими и магнитными явлениями, т. е. между электростатикой

и магнетостатикой. Дело в том, что до работ Эпинуса о пироэлектричестве турмалина в области электростатики не знали дипольных эффектов, так как положительная и отрицательная полярности наблюдались на различных телах. Между тем в магнетостатике всегда одновременно на одном и том же теле наблюдались и северный и южный полюсы. Открытие пироэлектрического эффекта в турмалине показало Эпинусу, что в области электричества возможно появление обоих электричеств на одном и том же теле. Это и навело его на мысль об аналогии между электро- и магнетостатикой. Ход развития этих воззрений наглядно иллюстрируется „Речью о сходстве електрической силы с магнитною“, „Мемуаром, содержащим точное описание опытов, проведенных с турмалином“, и, особенно, „Дополнением к предыдущему мемуару“.

Далее, во введении Эпинус излагает свою принципиальную точку зрения на вопрос о природе электрического и магнитного взаимодействия. Он указывает, что, вводя силы притяжения и отталкивания в теорию электричества и магнетизма, он отказывается „от исследования вопроса, откуда происходят первоначальные силы“. Эпинус относится пренебрежительно к самой этой проблеме, он добавляет: „Исследовать этот вопрос я предоставляю тем, кому угодно тратить время на такого рода исследования“. Он полагает, что „первоначальные и основные силы, к помощи которых прибегает природа, играют в некотором смысле такую же роль в физике, как трансцедентные величины в геометрии“. Но, как известно, термин „трансцедентная“ указывает на тот факт, что эта величина не может быть получена с помощью элементарных арифметических действий, что это „превышает силы“ (vires transcendit) элементарной математики. Таким образом, Эпинус считает поиски причины этих сил бесплодным занятием, так как это в некотором смысле превышает силы физики. Он ссылается на пример Ньютона, который в изложении явлений, зависящих от всемирного тяготения, „не заботится о том, чтобы выявить, откуда взялось само

всемирное тяготение". Стремясь отразить нападки всех тех, кто считает применение терминов „притяжение" и „отталкивание" недопустимым в физике, Эпинус указывает, что он не сомневается в существовании таких сил, „однако, — говорит он, — я отнюдь не считаю их, как поступают некоторые неосторожные последователи великого Ньютона, силами, внутренне присущими телам, и я не одобряю учения, которое постулирует действие на расстоянии. Действительно, я считаю несомненной аксиомой предложение, по которому тело не может производить никакого действия там, где его нет".

Таким образом, Эпинус проводил отчетливую грань между Ньютоном и его последователями, в частности Котсом, который объявил тяготение „первичной причиной, вложенной в материю творцом".

Как известно, Ньютон (в письме к д-ру Бентлию) писал: „Предполагать, что тяготение является существенным, неразрывным и врожденным свойством материи, так что тело может действовать на другое на любом расстоянии в пустом пространстве, без посредства чего-либо, передавая действие и силу, — это, по-моему, такой абсурд, который немыслим ни для кого, умеющего достаточно разбираться в философских предметах. Тяготение должно вызываться агентом, постоянно действующим по определенным законам".[1]

Эпинус идет дальше, он говорит: „Если когда-нибудь будет доказано, что какое-либо притяжение или отталкивание совершенно не зависит от внешнего давления или импульса, то, по моему мнению, мы принуждены будем в этом случае допустить, что движение такого рода руководится или производится духами или существами, которые действуют притом сознательно, однако я не могу заставить себя поверить, что это имеет место в мире".

Котс оспаривал подобные вольнодумные мысли и требовал признать тяготение хотя бы чудом, возникшим по воле

[1] С. И. Вавилов. Исаак Ньютон. Изд. 2, 1945, стр. 147.

творца, „иначе пришлось бы прямо заявить, что в основание естествознания должен быть положен атеизм".

„Итак, — подчеркивает Эпинус, — мой взгляд сводится к тому, что притяжения и отталкивания, о которых я говорил, я считаю явлениями, причины которых *еще*[1] скрыты; однако от них зависят и от них берут начало другие явления". Он снова повторяет это: „Я считаю, что тот, кто сводит более сложные явления к их ближайшим причинам и первоначальным силам, делает серьезный шаг вперед в исследовании действий природы, хотя бы причины этих действий и не были *еще* раскрыты... Я убежден,— говорит Эпинус,— что такое разъяснение моих взглядов, которые я здесь предлагаю, удовлетворит даже самого сурового критика".

Как справедливо подчеркнул акад. С. И. Вавилов, „Эпинус в своей теории электростатических и магнитных взаимодействий пользуется ньютоновским формализмом притягательных и отталкивательных сил".[2]

К сожалению, нередко в курсах и очерках по истории физики неправильно утверждается, будто Эпинус ввел „непосредственное действие силы на расстоянии — actio in distans".[3]

Общие основы теории электричества и магнетизма

Эпинус положил в основу своего труда унитарную теорию Франклина. Сделал он это отнюдь не от особого пиетета к Франклину. Наоборот, Эпинус критически рассматривает каждое рассуждение Франклина и весьма резко отмечает его ошибки и непоследовательность в его умозаключениях. Но, стремясь построить количественную теорию

[1] Курсив здесь и дальше наш.

[2] С. И. Вавилов. Физический институт Академии Наук за 220 лет. Успехи физ. наук, т. XXVIII, вып. 1, 1946.

[3] Напр.: Ф. Розенбергер. История физики, т. II. Гостехиздат, 1933, стр. 303.

электричества и магнетизма, Эпинус очевидно решил положить в основу ее наиболее простые предположения, чтобы не осложнять расчетов. Теория одной электрической жидкости, предложенная Франклином, позволяла гораздо проще подойти к математической трактовке явлений, чем теория двух электричеств, т. е. двух видов носителей заряда. Поэтому, не связывая себя одобрением воззрений Франклина во всех их подробностях, Эпинус позаимствовал из его теории лишь самые общие положения, а именно:

1) „Существует некая жидкость, производящая все электрические явления и вследствие этого названная электрическою, тончайшая, весьма эластичная, части которой даже на значительных расстояниях заметно отталкивают друг друга“.

2) „Частицы этой жидкости притягиваются материей, из которой состоят все известные до сих пор тела“.

3) „В самом способе, каким другие тела действуют на частицы электрической жидкости, существует примечательное различие. В самом деле, одни из тел отличаются тем свойством, что электрическая материя в их порах движется с чрезвычайной легкостью...; напротив, другие тела имеют такую природу, что с трудом допускают такого рода движение и препятствуют ее свободному перемещению“.

Все тела Эпинус делит, таким образом, на проводники и изоляторы. Далее Эпинус полагает, что существуют два вида электрических явлений: „Одни возникают в результате фактического перехода электрической материи из одного тела в другое“, сюда он причисляет „искры и другие явления, относящиеся к электрическому свету; другие же электрические явления происходят... без перехода из одного тела в другое; сюда относятся, главным образом, притяжения и отталкивания, вызываемые обычно наэлектризованными телами“. При этом Эпинус исправляет ошибку, допущенную Франклином. Последний считал стекло особым веществом и „непроводимость стекла“ относил к особому

классу явлений. Эпинус показал, что стекло является обычным диэлектриком. Заметим, что уже Ломоносов в своей программе конкурса не отделял стекла от прочих диэлектриков. Таковы, как говорит Эпинус, „все теоретические основы, необходимые нам для объяснения электрических явлений".

Далее он переходит к формулированию основ своей теории магнитных явлений и подчеркивает (§ 5), что „цель настоящего сочинения — проводить сравнение между электричеством и магнетизмом и обнаруживать то сходство, которое имеет место повсюду в проявлениях той или другой силы".

Эпинус исходит „из положения, что все магнитные явления могут быть выведены из следующих немногих оснований, чрезвычайно сходных с теми, на которых построена была Франклинова теория электричества". Эти „основания" представляют собою оригинальную гипотезу самого Эпинуса. Они заключаются в следующем:

1) „Существует жидкость, производящая все магнитные явления, которую поэтому следует назвать магнитной. Эта жидкость чрезвычайно тонка, может проходить через любые поры в телах; ее частицы, как и частицы электрической жидкости, взаимно отталкивают друг друга".

2) „Эта жидкость в большей части других тел, обнаруживаемых в мире, не вызывает никакой реакции; она не притягивается и не отталкивается ими".

3) „Однако же существует определенный ряд тел, части которых притягивают магнитную материю и точно так же ею притягиваются: телом, наделенным таким свойством, является, прежде всего, железо, а затем все тела, именуемые железными, поскольку в них есть железо, как то: различные руды железа, столь известный камень, именуемый магнитом, ... и другие вещества того же рода".

Далее Эпинус указывает, что в отношении магнитной жидкости ферромагнитные тела (как мы их теперь называем) сходны с диэлектриками, так как в них „магнитная жидкость

может двигаться с трудом", причем в железе это магнитное сопротивление даже больше, чем электрическое сопротивление в диэлектрических. Эпинус подчеркивает, что не существует „магнитных проводников" (§ 3).

Таковы основы эпинусовской теории магнетизма. Если эта теория электричества хотя бы в отдаленных чертах напоминает современные, то его теория магнетизма не имеет ничего общего с современными представлениями. Однако в приближенных магнетостатических расчетах до сих пор, как известно, продолжают применяться модели, основанные на представлении о магнитных массах, т. е. о магнитной жидкости. Для этих приближенных технических расчетов существенным является не внутренний механизм магнитных явлений, а всего лишь распределение намагниченности, которая формально заменяется магнитной жидкостью. Поэтому, как мы увидим далее, магнетостатические расчеты Эпинуса приводят в ряде случаев к хорошему согласию с опытными фактами. Это согласие, однако, немедленно нарушается всякий раз, когда внутренняя природа явления начинает играть решающую роль. Со времен Гильберта было твердо установлено коренное различие между электрическими и магнитными явлениями, так что, как мы уже указывали, сходство между магнетизмом и электричеством представлялось большинству ученых того времени крайне сомнительным. Поэтому Эпинус счел нужным особо добавить, что он отнюдь не считает (§ 5) „магнитную жидкость и электрическую одним и тем же веществом, как поступают те, которые и явления электричества, и явления магнетизма и еще многое другое стараются вывести из одной и той же тончайшей жидкости, именно из эфира".

Из этих основ Эпинус делает ряд выводов. Во-первых, поскольку магнитны лишь железо и железосодержащие вещества, он заключает, что „электричество по разнообразию своих явлений должно быть гораздо богаче магнетизма". Поэтому он не рассчитывает найти в явлениях магнитных

что-либо полезное для теории электричества, но, напротив того, он полагает, что сможет из электрических явлений извлечь полезные указания для теории магнетизма. И он заканчивает рассмотрение этих вопросов указанием: „Я собираюсь здесь скорее обосновать теорию магнетизма, чем теорию электричества".

Далее Эпинус развивает приближенную математическую теорию взаимодействия заряженных, или поляризованных тел (как электрических, так и магнитных). Мы несколько остановимся на ней, чтобы, во-первых, выяснить дополнительные допущения, лежащие в основе этих расчетов, а во-вторых, чтобы выявить важнейшие физические следствия, вытекающие из нее. Для большей ясности будем придерживаться привычных современному читателю терминологии и методов обозначения вместо тех, которыми пользовался Эпинус, но зато мы постараемся отчетливее выявить его физические идеи.

Случай I. Действие незаряженного тела A (проводника или диэлектрика) на частицу электрической (или магнитной) жидкости, обладающую зарядом и расположенную около поверхности тела A.

Пусть тело A в незаряженном („естественном") состоянии содержит N частиц заряда e. Тогда частица заряда e, находящаяся около A, должна, согласно основной гипотезе, притягиваться веществом тела A и отталкиваться содержащейся в нем электрической жидкостью заряда $Ne=Q$. Пусть сила притяжения обозначается f_a, а сила отталкивания f_r. Тогда результирующая сила $F=f_a-f_r$.

В случае незаряженного тела A, по основным предположениям: $F_0=f_a-f_r=0$.

Случай II. Действие тела A (проводника или непроводника), обладающего избыточным равномерно распределенным по объему тела зарядом $q=\nu e$, на ту же частицу заряда e.

Тогда сила отталкивания

$$F_r=f_r\left(1+\frac{q}{Q}\right),$$

а сила притяжения остается прежней $F_a = f_a$. Так как $f_a = f_r$, то результирующая сила

$$F = F_a - F_r = f_r \frac{q'}{Q} = f_r \frac{\nu}{N}.$$

Но N есть полное количество частиц электричества в незаряженном теле A, причем N зависит только от природы тела. Следовательно, N должно быть пропорционально объему тела v; тогда, обозначая через n концентрацию зарядов в единице объема тела A в „естественном" его состоянии, получаем, что

$$F = f_r \frac{\nu}{nv} = f_r \frac{\rho}{n},$$

где $\rho = \frac{\nu}{v}$ — объемная плотность заряда.

Итак, частица электрической жидкости e отталкивается телом A, имеющим избыток электрической жидкости q при равномерном его распределении по объему, с силой, пропорциональной $\frac{q}{Q}$ или, как мы написали, объемной плотности заряда ρ. Эпинус при этом замечает, что в диэлектрике избыточный заряд не сможет равномерно распределиться по объему вследствие высокого сопротивления, испытываемого электрической жидкостью при ее движении. Поэтому избыточный заряд на диэлектрике должен всегда находиться на его поверхности или около. Далее он указывает, что все, что здесь было сказано для избыточного заряда q, относится к недостатку заряда, $-q$.

Характерно, что Эпинус целиком игнорирует факт распределения электрического заряда на поверхности металлического проводника. Это обстоятельство вызвало впоследствии раздраженные слова Пристли (см. далее).

Пользуясь этими вычислениями, Эпинус показывает, что в том случае, если имеется незаряженное тело с неравномерно распределенной в нем электрической (или магнитной) жидкостью, то появляются силы, которые стремятся распре-

делить ее равномерно по всему объему, т. е. электрическая или магнитная поляризация (как мы ее называем) должна постепенно исчезать сама собой. Такая поляризация должна тем медленнее исчезать, чем выше сопротивление, испытываемое жидкостью при ее движении. Из этого обстоятельства сразу можно заключить, как отмечает Эпинус, что хороший проводник электричества или магнетизма не может находиться в поляризованном состоянии „дольше одного мгновения“.

Исследуя силу, стремящуюся выравнять распределение заряда в поляризованном теле, Эпинус приходит к выводу, что она больше, чем сила, стремящаяся удалить частицу жидкости из заряженного тела. Он рассматривает частицу заряда, расположенную в середине поляризованного тела. Если в одной половине тела имеется избыток q, а в другой половине недостача — q, то сила, действующая на частицу и толкающая ее в сторону, где имеется недостача,

$$F = f \cdot \frac{2q}{Q} \cdot$$

Далее Эпинус переходит к очень важному вопросу — взаимодействию друг с другом двух тел A и B. И здесь сначала рассматривается случай, когда оба тела не заряжены. Тогда оказывается, что электрическая жидкость, наполняющая тело A, испытывает со стороны B силу притяжения f_{Ba} и силу отталкивания f_{Br}, так что, если оба тела не заряжены, результирующая сила $F'_{BA} = f_{Ba} - f_{Br} = O$. С другой стороны жидкость в теле B испытывает со стороны тела A притяжение f_{Aa} и отталкивание f_{Ar}, так что

$$F'_{AB} = f_{Aa} - f_{Ar} = 0.$$

Необходимо, однако, как указывает Эпинус (§ 28) „принять также, что и сама материя тела A в собственном смысле“ (т. е. молекулы тела A) „будет действовать на материю тела B в собственном смысле“ (т. е. молекулы

тела B). В таком случае полное действие со стороны тела B на тело A складывается из следующих членов (в наших обозначениях):

$$F_{BA} = F'_{BA} + F_{MA} + F_{MM},$$

где F_{MA} есть действие, испытываемое молекулами тела A со стороны электрической жидкости, содержащейся в B, а F_{MM} есть действие, испытываемое молекулами тела A со стороны молекул тела B. Точно так же

$$F_{AB} = F'_{AB} + F_{MB} + F_{MM}.$$

Но два незаряженных и неполяризованных тела „не оказывают никакого действия друг на друга, во всяком случае не оказывают друг на друга никакого действия, которое можно было бы приписать электричеству или магнетизму“, — говорит Эпинус. Значит $F_{BA} = F_{AB} = 0$. А поскольку F'_{AB} и F'_{BA} также равны нулю, то

$$F_{MB} + F_{MM} = 0, \text{ или } F_{MM} = -F_{MB};$$
$$F_{MA} + F_{MM} = 0, \text{ или } F_{MM} = -F_{MA}.$$

Иными словами, поскольку сила взаимодействия между молекулами вещества F_{MM} имеет знак, обратный силам взаимного притяжения F_{MB} и F_{MA}, необходимо заключить, что молекулы вещества отталкиваются друг от друга. Из этого обстоятельства Эпинус делает следующий важный вывод: так как незаряженные и неполяризованные тела электрически или магнитно не действуют друг на друга при любых расстояниях между ними, а все силы F'_{AB}, F_{MB}, F'_{BA}, F_{MB} несомненно „меняются с изменением расстояния, то отсюда следует, что любая из них претерпевает одно и то же изменение вследствие изменения расстояния, так как иначе их равенство не могло бы оставаться в силе при любом расстоянии. Следовательно, силы, о которых мы здесь неоднократно говорили, не только являются *одной и той же функцией*

расстояния,[1] но, кроме того, при равных расстояниях всегда имеют одну и ту же интенсивность". Эпинус не решается определить вид функциональной зависимости этих сил от расстояния. „Хотя, — говорит он, — в случае, если бы следовало произвести выбор между различными функциями, я охотно утверждал бы, что эти величины *изменяются обратно пропорционально квадратам расстояния*. Так можно предполагать с некоторым правдоподобием, ибо в пользу такой зависимости, повидимому, говорит аналогия с другими явлениями природы".

То обстоятельство, что силы взаимодействия между молекулами F_{MM} оказываются силами отталкивательными, представлялись Эпинусу первоначально (как он сам указывает), серьезным возражением против самых основ теории Франклина вследствие противоречия гравитационному закону Ньютона. Однако позднее он пришел к заключению, что это обстоятельство не может иметь значения, так как закон Ньютона относится лишь к телам в целом, т. е. к телам, уже содержащим „естественное" количество электрической жидкости. Следует заметить, что тем не менее это обстоятельство вызывало возражения у многих авторов XVIII в. против теории Франклина. В частности, даже авторы блестящего отзыва о книге Эпинуса, французские академики Лаплас, Кузен и Лежандр, указали, что видят в этом обстоятельстве недостаток унитарной теории Франклина. Они отметили, что с этой точки зрения им кажется гораздо более правдоподобной теория двух электрических жидкостей, которая столь же хорошо укладывается в математическую схему Эпинуса, как и унитарная теория, и вместе с тем не содержит противоречия ньютоновской теории тяготения.

Весьма замечательным является предположение Эпинуса о том, что взаимодействие электрических и магнитных зарядов, вероятно, следует квадратичной зависимости от рас-

[1] Курсив здесь и далее наш.

стояния. В отношении электрических зарядов это указание Эпинуса в 1759 г. является, повидимому, самым ранним в истории физики.

В отношении магнетизма аналогичное предположение было высказано Дж. Майчеллем в 1750 г., хотя уже Ньютон был весьма близок к открытию этого закона. В самом деле, Ньютон на опыте обнаружил, что величина силы магнита, т. е. магнитного диполя, убывает приблизительно обратно пропорционально кубу расстояния. Попытки экспериментального определения „изменения силы магнитного притяжения с расстоянием“ были затем описаны в работах Хоуксби в 1712 г., Тэйлора в 1715 г., Мушенбрёка в 1729 г., Дю-Фэ в 1731 г., Крафта в 40-х годах и, наконец, Т. Майера в 1760 г. Последний утверждал, что действительно обнаружил квадратичный закон, однако Эпинус в своей статье „Examen theoriae magneticae a celeberrimo Tob. Mayero propositae“ („Проверка теории магнетизма, предложенной знаменитейшим Т. Майером“)[1] показал, что эти опыты мало убедительны.

Что касается электрического закона взаимодействия, то впервые в 1752—1753 гг. Г. В. Рихман отмечает намерение использовать сконструированный им электрометр — „указатель“ — для опытного установления функциональной зависимости взаимодействия электрических зарядов с тем, чтобы превратить этот электрометр в „абсолютный электрометр“.[2] Трагическая гибель Рихмана помешала осуществлению этого плана.

В 1760 г. появилось краткое сообщение о том, что Д. Бернулли в Базеле удалось установить квадратичный закон с помощью сконструированного им электрометра. В 1767 г. Пристли в своей „Истории электричества“ впервые подчеркнул важное значение опыта Франклина, который обнаружил, что „пробковые шарики не подвергались вовсе

---

[1] Novi Comm. Acad. Sc. Imp. Petropolitanae, v. XII, 1768, p. 325.
[2] Там же, v. IV, 1758, p. 301.

действию электричества металлического сосуда, внутри которого они находились". Пристли высказал при этом следующее предположение: „Нельзя ли заключить из этого опыта, что электрическое притяжение следует точно такому же закону, как и тяготение, т. е. квадрату расстояния, поскольку легко показать, что если бы земля имела форму оболочки, тело, находящееся внутри нее, не притягивалось бы к одной стороне сильнее, чем к другой".[1] Эту же мысль развил Кэвендиш в 1771 г., произведя ряд опытов и подробных расчетов, большая часть которых была опубликована лишь в 1879 г. К. Максвеллом. Наконец, в 1785 г. Кулон установил экспериментальным путем, с помощью чувствительных крутильных весов, и опубликовал свой знаменитый закон как для электричества, так и для магнетизма.

Но Эпинус в 1758—1759 гг. не считал еще возможным настаивать на квадратичной зависимости от расстояния. Оставив эту проблему открытой, он попытался рассмотреть другой фундаментальный вопрос — о взаимодействии между заряженным (или поляризованным) телом и незаряженным (или неполяризованным).

Рассмотрев подробно эту проблему, Эпинус установил замечательный, новый для той эпохи факт (§ 33):

1) „Пока тело содержит естественное количество электрической жидкости, иными словами, пока оно находится в естественном состоянии, оно не притягивается и не отталкивается другими телами, будь они положительно- или отрицательно-электрические (т. е. наэлектризованы, — *Я. Д.*)".

2) „Железо или какое угодно сходное с железом тело, пока оно не обладает никакой магнитной силой (т. е. не намагничено, — *Я. Д.*), не притягивается и не отталкивается магнитом, т. е. магнит действует только на другой магнит или на такое железо, которое уже приобрело магнитную силу".

[1] J. Priestley. The History and present state of Electricity with original experiments. London, 1767, p. 732.

Насколько это утверждение было новым для своего времени, можно видеть из последующих слов самого Эпинуса: „Эти предложения, без сомнения, покажутся несостоятельными большинству физиков, особенно же большинству из последователей Франклина, которые недостаточно глубоко продумали выводы, следующие из системы Франклина, и которые поэтому вместе с самим знаменитым Франклином считают правилом, подтвержденным опытом, что тела как положительно-, так и отрицательно-электрические (т. е. наэлектризованные, — *Я. Д.*) притягивают всегда какие угодно другие тела, не обладающие электричеством“. И Эпинус указал, что его утверждение — твердо установленный факт, как он покажет в своей книге. „Ниже я с полной очевидностью докажу, что ни одно тело, находящееся в естественном состоянии, не может приблизиться к другому заряженному телу без того, чтобы оно само не вышло из естественного состояния“.

Таким образом, Эпинусу всецело принадлежит открытие теории явлений электрической и магнитной индукции и поляризации. Он далее отметил, что явление это должно быть тем сильнее, чем легче перемещается электрическая или магнитная жидкость в данном теле. Таким образом, он смог впервые объяснить явление, которое казалось „противоречащим первоосновам разума“, о том, что магнитножесткие тела, хорошо сохраняющие остаточный магнетизм, слабее притягиваются к магниту, чем мягкое железо.

По Эпинусу, чем выше сопротивление, испытываемое магнитной жидкостью, тем выше должно быть остаточное намагничение. Далее он применяет полученные им общие принципы, прежде всего, к объяснению действия лейденской банки. Характерно, что он с самого начала признает несущественность формы стекла и поэтому рассматривает вместо банки плоский конденсатор. Однако Эпинус сохраняет в своем рассмотрении равномерное распределение электричества по объему обкладок, поэтому все силы остаются у него (как уже было указано нами) пропорциональными

объемной плотности заряда. Эпинус приходит к выводу, что частички электричества отталкиваются друг от друга пропорционально объемной плотности заряда. Неправильность этого вывода Эпинуса впервые справедливо отметил Пристли в своей „Истории электричества“: „Тот, кто читает первую главу, так же как и многие другие части его вышеупомянутого подробного трактата,[1] сможет сохранить немало времени и хлопот, если он учтет, что результаты многих из его рассуждений и математических вычислений не могут быть увязаны между собой. Дело в том, что он предполагает, что отталкивание или упругость электрической жидкости пропорциональна его уплотнению, что не верно, так как иначе частички должны были бы отталкивать друг друга обратно пропорционально первой степени их расстояний, как это показал сэр Исаак Ньютон во второй книге своих «Начал»“.[2]

Действительно Ньютон указывает:[3] „Если плотность жидкости, состоящей из взаимно отталкивающихся частиц, пропорциональна сжимающему давлению, то отталкивательные силы частиц обратно пропорциональны расстояниям между их центрами. Наоборот, частицы, отталкивающиеся взаимно с силами, обратно пропорциональными расстояниям между своими центрами, образуют упругую жидкость, плотность которой пропорциональна давлению“. И далее: „... если отталкивательные силы частиц обратно пропорциональны квадрату расстояний между их центрами, то кубы сжимающих сил будут пропорциональны четвертым степеням плотностей... Вообще, если обозначить через D расстояние и через E плотность сжимаемой жидкости и принять, что отталкивательные силы частиц обратно пропорциональны n-й степени расстояний, т. е. D, то давления будут пропор-

---

1 Т. е. „Tentamen . . .“.

2 J. Priestley, ук. соч., стр. 463.

3 И. Ньютон. Математические начала натуральной философии. Пер. акад. А. Н. Крылова, 1916. Кн. II, отд. II, стр. 336—349.

циональны степени $\frac{n+2}{3}$, т. е. $E^{\frac{n+2}{3}}$ и наоборот. Все это относится до действия между частицами таких отталкивательных сил, которые ограничиваются лишь ближайшими частицами и не распространяются далеко от них".

Но Пристли, отметив с раздражением этот недостаток в труде Эпинуса, прошел мимо важнейших его достижений, мимо новых воззрений и понятий, введенных им впервые.

Рассматривая вышеупомянутый плоский конденсатор, Эпинус особо подчеркнул, что экспериментаторы не раз отмечали, что чем тоньше стеклянная прокладка или чем тоньше стенки банки и чем больше поверхность обкладок, тем выше та „степень электричества" (т. е. степень электризации), которую можно произвести посредством электростатической машины, прежде чем произойдет разряд в воздухе. „Легко можно показать, — говорит он в § 50, что если пластинка... будет тоньше, то при прочих равных условиях возможно накопление электричества большее, чем если она имеет бóльшую толщину... Ниже я действительно покажу, что сила электрического потрясения[1] зависит, главным образом, от степени сгущения электрической жидкости". Таким образом, Эпинус отчетливо вводит здесь наряду с уже ранее известным понятием о количестве электричества принципиально новые понятия о степени сгущения (condensatio) электрической жидкости и о способности к накоплению электричества, т. е. он вплотную подходит к понятию о потенциале и о емкости.

Историки обычно приписывают введение этих понятий Кэвендишу, сформулировавшему их правда уже более четко и удачно, но лишь 10—12 лет спустя.

Эпинус приводит множество опытов для доказательства существования электрической индукции.

Большой исторический интерес представляет опыт с металлической чашей, которая заполнялась расплавленной се-

[1] Т е. разряда.

рой. Когда сера застыла, к ней была приклеена ручка. Оказалось, что „пока серный сегмент был соединен с чашей, не наблюдалось никаких следов электричества. Но как только сера отделялась от чаши, и та и другая оказывались активно электрическими... В этом случае сера и чаша всегда обнаруживали противоположные электричества“. Дальнейшие опыты с этой установкой обнаруживали все те свойства, которыми отличается, но в гораздо более выраженной степени, прибор, известный по имени „электрофор“, изобретение которого (1775) приписывается нередко А. Вольте. Вопрос о приоритете Эпинуса в данном вопросе был поднят уже в те времена, как это видно из высказываний самого Вольты: „Эпинус и Вильке предвосхитили эту идею и открыли явление, хотя и не сконструировали законченного лабораторного прибора“.[1] Упоминание в связи с этим И. К. Вильке вызвано тем, что опыт производился первоначально Эпинусом совместно с его учеником И. К. Вильке в Ростоке. Повидимому, идея этих опытов принадлежала декану факультета Эпинусу, как явствует из диссертации Вильке.[2] Вместе с тем, как видно из опубликованного лишь в 1762 г. „Дополнения“ к „Мемуару, содержащему точное описание опытов, проведенных с турмалином“ Эпинуса,[3] опыты с электрофором, как и многие другие, были поставлены им также в Петербурге.

Описывая эти опыты, Эпинус высказал одно замечание, заслуживающее серьезного внимания:

„Что же, думал я, если два тела различного типа, например сера и металл, были бы так соединены, что их поверхности точно соприкасались бы и составляли, так сказать, одно тело, то электрическая материя, когда эти тела были бы нагреты, разве не перешла бы из одного тела в другое и разве не возникло бы от этого электричество?“.

---

[1] A. Volta. Le Opere, v. III. Milano, 1918—1929, p. 214.

[2] См. стр. 483.

[3] См. стр. 451.

Таким образом, Эпинус в 1762 г. фактически предвосхитил идею А. Вольты (1794) о том, что уже само соприкосновение разнородных тел друг с другом может служить причиной возникновения электризации („электричества“, по выражению Эпинуса). Но Эпинус полагал, что без нагревания такой переход электричества не может осуществиться. Представляется удивительным, что он не открыл электризации разнородных металлов при соприкосновении. А. Вольта, открыв это явление в 1794 г., объяснял его в полном соответствии с теорией Эпинуса.

Рассматривая далее более подробно действие лейденской банки, Эпинус показывает, что ее разряд представляет собою почти мгновенное выравнивание концентрации электрической жидкости между обкладками банки. При этом он приводит следующее замечательное соображение (§ 67), ранее уже смутно высказанное в вышеупомянутой диссертации Вильке: „Электрическая жидкость, приведенная в чрезвычайно быстрое движение, подвергнется значительному сжатию и, являясь чрезвычайно упругой, она будет приведена в крайне быстрые колебания“. Таким образом, Эпинус задолго до Гельмгольца, высказавшего в 1847 г. то же соображение, и ровно за столетие до Феддерсена, впервые (1859) на опыте доказавшего, посредством вращающихся зеркал, колебательный характер искрового разряда, предвидел это явление, хотя и не мог его обнаружить.

В связи с вопросом о механизме действия банки и о накоплении значительного заряда на обкладках конденсатора Эпинус описывает известный опыт с большим воздушным плоским конденсатором, поставленный совместно с Вильке (которого он здесь, не называя по фамилии, именует выдающимся знатоком теории Франклина) в Ростоке.

Идея этого опыта, как отмечает сам Вильке,[1] принадлежала Эпинусу. Опыт был поставлен с той целью, чтобы

[1] J. C. Wilcke, то же.

выяснить окончательно, справедливо ли мнение Франклина о том, что существенную роль в лейденской банке играет именно стекло. Вильке попытался получить заметный разряд от конденсатора, состоящего из двух параллельных металлических брусков, разделенных воздухом. Получив неудачный результат, он уже готов был согласиться с мнением Франклина. Но Эпинус усмотрел причину неудачи этого опыта, указав (§ 73), что разряд „будет тем менее бурным, чем меньше те поверхности, на одной из которых жидкость сгущается, а с другой из которых она удаляется и чем больше эти поверхности отстоят друг от друга". И вот Эпинус позаботился об изготовлении двух пластин площадью 8 кв. футов (около 0.75 м^2), расположив их параллельно друг другу на расстоянии 1.5 дюйма (3.8 см). „После того как я поставил опыт обычным образом, я немедленно же получил сильное потрясение, совершенно подобное тому, какое обычно вызывает лейденская банка" (§ 75). Этим была доказана ошибочность воззрения Франклина „на особое строение стекла". Эпинус продолжает: „Этот опыт был мне весьма полезен для правильного понимания действия гроз, сопровождающихся молниями. Ведь совершенно ясно, что если из моих пластин одну принять за облако, чреватое электричеством или громом, а другую — за поверхность земного шара, над которой находятся облака, то этот опыт дает картину всего того, что происходит во время грозы, сопровождаемой молнией".

Выяснив таким образом основы электростатики, Эпинус применяет их к теории магнетизма. При этом он вводит понятие о степени „насыщения". Следует, однако, помнить, что термин магнитное „насыщение" у Эпинуса означает наивысшее *остаточное* намагничение.

Рассматривая процесс намагничения с точки зрения своей теории, Эпинус приходит к выводу, что чем выше сопротивление, встречаемое магнитной жидкостью, тем больше должно быть остаточное намагничение. Этот вывод основан на

предположении, что все ферромагнетики обладают одной и той же концентрацией магнитной жидкости. В общем случае наивысшее остаточное намагничение должно по теории Эпинуса зависеть как от сопротивления, так и от концентрации магнитной жидкости, и при ничтожном ее содержании в данном веществе остаточное намагничение будет незначительным даже в случае очень большого сопротивления.

Весьма любопытно рассуждение Эпинуса о внутренних силах, стремящихся выравнять концентрацию магнитной жидкости. Поскольку намагничение обусловлено неравномерным распределением магнитной жидкости вдоль образца, в любом намагниченном таким образом теле должно существовать, по Эпинусу, саморазмагничивающее действие. Единственно, что препятствует саморазмагничиванию образца, это сопротивление движению магнитной жидкости, присущее железу и сходным с ним телам. Оно препятствует, по мнению Эпинуса, бурному разряду магнетизма.

Поскольку размагничивающее действие зависит, говорит Эпинус, от взаимодействия частиц магнитной жидкости, находящихся на одном полюсе, с притягивающими их молекулами тела, расположенными на другом полюсе, а сила эта убывает с расстоянием, то размагничивающее действие в коротких образцах оказывается, в соответствии с опытом, больше, чем в длинных образцах.

Значительные затруднения встречает эта теория при интерпретации опытов с разрезыванием длинных магнитов на части. В самом деле, пусть имеется длинный магнит. Тогда, по теории Эпинуса, в одном его конце имеется избыток магнитной жидкости, а в другом недостаток. Ясно, что если разрезать такой магнит на части, то они должны оказаться не только поляризованными, но заряженными магнитной жидкостью, чего на опыте не наблюдается. Казалось бы, это experimentum crucis всей теории Эпинуса.

Для того чтобы обойти это явное затруднение теории, Эпинус ввел (§§ 98 и 99) искусственное предположение

о том, что „в то самое мгновение“, когда кусок отделяется от магнита, должна несколько уменьшиться избыточная (или недостаточная) концентрация, так что магнитного заряда у обоих кусков в результате не окажется. Он утверждает далее, что наблюдаемые им распределения магнетизма хорошо согласуются с теорией, не замечая, повидимому, что здесь заключено глубокое противоречие.

Этот вопрос был впоследствии (1789) подробно разобран Кулоном в его „Седьмом мемуаре“, трактующем о магнетизме. Он установил посредством тщательных опытов, что „если магнитная стрелка свободно подвешена, то сумма сил северного магнетизма, которые принуждают эту стрелку стать в направлении магнитного меридиана, в точности равна сумме сил южного магнетизма. Этот несомненный результат имеет место не только в случае намагниченной стрелки, но и в том случае, если стрелку, после намагничения, разрезать на несколько частей, если, например, срезать конец северной ее части. Эта часть, будучи подвешена, окажется подверженной действию в точности равных друг другу северных и южных сил. Но в предшествующих гипотезах, — говорит Кулон, — эта часть должна была бы быть заряженной исключительно северной жидкостью и действие обоих магнитных полюсов земного шара должно было бы соединиться в стремлении, чтобы унести ее к северному полюсу; таким образом, теория здесь находится в противоречии с экспериментом“.[1]

То обстоятельство, что Кулон пользуется не унитарной теорией Эпинуса, а предполагает существование двух магнитных жидкостей, как он сам замечает, не меняет дела. Кулон поэтому попытался внести изменение в теорию магнитной жидкости. „Оно состоит в предположении, — продолжает Кулон, — что в системе г. Эпинуса магнитная жидкость

[1] Coulomb. Mémoires. (Collection de mémoires rélatifs à la Physique publiées par la Soc. Franç. de Physique, t. I). Paris, 1884, pp. 302—303

заключена в каждой молекуле или составной части магнита или стали; эта жидкость может быть перенесена с одного конца этой молекулы на другой, что придает каждой молекуле два полюса, но эта жидкость не может переходить от одной молекулы к другой".[1]

Таков был результат, полученный Кулоном, но Эпинус в рассматриваемом нами трактате 1759 г. не предвидел его и спокойно развивал свою теорию магнетизма далее.

Об электрическом и магнитном притяжении и отталкивании

Во второй главе Эпинус рассматривает, главным образом, явление электрической и магнитной индукции в многочисленных и весьма разнообразных расчетах и убедительных опытах, на которых мы не будем особо останавливаться, поскольку они непосредственно вытекают из основных формул Эпинуса. При этом он показывает, что сила взаимодействия между заряженными телами или между заряженным и незаряженным телом убывает монотонно.

Здесь он снова обращается к вопросу о зависимости от расстояния взаимодействия между зарядами, в частности магнитными зарядами. „Над нахождением этой функциональной зависимости a posteriori и из опыта тщательно трудились, — говорит Эпинус в § 151, — Мушенбрёк и многие другие, но им, тем не менее, не удалось достигнуть желаемого результата. Хотя я считаю это дело достаточно трудным, однако я не совсем потерял надежду, что в том случае, если опыты будут поставлены надлежащим образом с помощью искусственных магнитов и если на помощь будут призваны изложенные здесь отделы теории, этот закон будет, наконец, выведен. Однако лично мне мои другие занятия не дали пока возможности заняться этим исследованием".

[1] То же.

Это замечание Эпинуса показывает, что он намеривался исследовать взаимодействие магнитов на искусственных магнитах и считал особо необходимым учесть при этом явление индукции. Из последующих строк можно установить причину, вследствие которой, по мнению Эпинуса, требовались именно искусственные магниты. Он говорит в § 151: „... для искусственных магнитов выбирают обыкновенно весьма длинные стальные прутья, наоборот, естественные магниты обычно бывают довольно короткими“. Очевидно Эпинус предполагал поставить опыт с взаимодействием длинных искусственных магнитов, чтобы по возможности приблизиться к случаю взаимодействия точечных зарядов. Иными словами, можно полагать, что Эпинус задумал примерно такой же опыт, какой был впоследствии осуществлен Кулоном.

О передаче электричества и магнетизма

В третьей главе трактата, как особо подчеркивает Эпинус (§ 194), важнейшую роль играет вопрос о передаче магнетизма, так как „все известные до сих пор способы сделать какое-либо тело магнитным сводятся только к передаче магнетизма; это означает, что если бы не было тел, которые сама природа, без помощи человеческого искусства, наделила магнетизмом, то мы не имели бы никакой возможности сделать какое-либо тело магнитным“. Далее он отмечает (§ 194), что из этого рассмотрения „во-первых... изящным образом выявляется сходство между силами электричества и магнетизма, а во-вторых, отсюда можно вывести всю теорию искусственного магнетизма“, т. е. методов искусственного намагничивания.

Как уже указывалось, Эпинус намеревался представить книгу ко времени конкурса Петербургской Академии Наук по вопросу о методике изготовления искусственных магнитов.

Эпинус начинает эту главу „с изложения законов передачи электрической силы“. Иными словами, речь идет,

прежде всего, о распределении электрического заряда между двумя проводящими телами A и B после их соприкосновения друг с другом, если первоначально A обладало некоторым положительным или отрицательным зарядом. „Легко понять, — пишет Эпинус, — что жидкость остановится и придет в состояние покоя не раньше, чем она будет распределена равномерно по всей совокупности тел A и B, и притом так, что в любой ее части она будет иметь одну и ту же плотность". В противном случае „частицы жидкости будут побуждаемы к передвижению... и равновесие установится не ранее, чем после того как жидкость будет доведена до равномерной плотности повсюду". Эпинус указывает, что если первоначально сила, с которой действовало тело A на расположенную около него частицу жидкости, равнялась $F_1 = f_r \frac{q}{Q_A}$ (где f_r — сила, приходящаяся на единицу заряда, а Q_A — „естественная" концентрация жидкости в незаряженном теле A), то после соприкосновения с телом B, у которого „естественная" концентрация жидкости равна Q_B, для совокупности тел A и B сила уменьшится до значения $F = f_r \frac{q}{Q_A + Q_B}$. Из этого Эпинус делает дальнейший вывод (§ 196), что „если тело B ... будет соединено с земным шаром (который по сравнению с любым телом, искусственно наэлектризованным, может считаться бесконечно большим) и вместе с ним образует одно непрерывное тело, то все электричество тела A, как бы поглощенное земным шаром, станет равным нулю".

Утверждение Эпинуса о том, что заряд распределится с равномерной плотностью по системе соединенных между собою проводников, разумеется, ошибочен: фактически выравнивается потенциал, а не плотность заряда. Десять лет спустя Кэвендиш в своих неопубликованных „Мыслях об электричестве" писал: „Очевидно электрическая жидкость будет иметь одинаковое давление во всех этих телах, иначе она

придет в движение от тех тел, где имеется большее давление, к тем, где оно меньше, покамест не установится одинаковое давление повсюду".[1]

Мы видели, что Эпинус вплотную подошел к понятию о потенциале и точно так же, как и Кэвендиш, представлял себе, что та или иная степень сгущения электрической жидкости отвечает той или иной степени давления. Чем же вызвано в таком случае заблуждение Эпинуса в данном вопросе? Очевидно тем обстоятельством, которое столь раздраженно отметил в свое время Пристли. Эпинус ошибочно предполагал, что упругость электрической жидкости пропорциональна ее плотности, поэтому, исходя фактически из того же представления о потенциале, что и Кэвендиш, и опередив таким образом Кэвендиша на 10 лет, Эпинус тем не менее пришел к ошибочному заключению о равномерном распределении плотности заряда между проводниками. Любопытно, однако, заметить, что ошибка Эпинуса осталась не примеченной не только французским физиком Гаюи, который ее уверенно повторяет в 1787 г. при изложении теории Эпинуса, но и его рецензентами — Лапласом, Лежандром и Кузеном.

Характерно, что Эпинус также продолжал здесь ошибочно считать, что заряд распределяется равномерно по объему проводника. Повидимому, известный опыт Франклина с полем внутри полого проводника не привлек его внимания.

Рассматривая случай соприкосновения заряженного проводника A с изолятором B, Эпинус пришел к выводу, что поскольку переданный телу B заряд не сможет в нем распространиться из-за наличия высокого сопротивления, то сообщение некоторого заряда ближайшему (к телу A) концу тела B должно вызвать появление заряда противоположного знака на удаленном конце тела B, вследствие явления индукции, что и было подтверждено на опыте (§ 202).

[1] The Electrical Researches of H. Cavendish, edited by C. Maxwell. Thaughts on electricity, London, 1879, § 199.

Этот случай Эпинус переносит на явление намагничения, так как, по первоначальному предположению, железо является плохим „проводником“ магнитной жидкости (чем железо тверже, тем больше его сопротивление движению магнитной жидкости).

В дальнейшем Эпинус подробно развивает теорию методов намагничивания постоянных магнитов. Прежде всего он останавливается на так называемом „методе двойного соприкосновения“, предложенном Дж. Майчеллем и Кэнтоном, а затем излагает свой собственный метод, являющийся его усовершенствованием. Метод, предложенный Эпинусом, как он сам отметил в предисловии к рассматриваемой книге, мало чем отличается от метода, описанного Антольмом в его диссертации, представленной на конкурс Академии незадолго до появления трактата Эпинуса.

Методика получения сильных постоянных магнитов для изготовления компасов имела огромное практическое значение для мореплавания, геодезии и военного дела в XVIII в. Стрелки компасов намагничивались натиранием их посредством других, уже намагниченных тел. Сущность метода физически сводится к тому, что вдоль намагничиваемой стрелки движется магнит, приведенный с нею в соприкосновение, дабы создаваемое им поле было, по возможности, интенсивным. Таким образом, все участки стрелки последовательно подвергаются действию сильного намагничивающего поля. Задача заключалась в том, чтобы после такой операции стрелка намагнитилась возможно более сильно и возможно более *равномерно*. Этой проблеме посвящено огромное число исследований и авторских заявок в XVIII в. Английские физики Майчелл и Кэнтон и французский физик Дюамель предложили так называемый „метод двойного прикосновения“, при котором вдоль намагничиваемого образца водят не одним магнитом, а сразу двумя навстречу друг другу поставленными магнитами. Тогда в промежутке между их точками соприкосновения, т. е. между противоположными

33*

их полюсами создается довольно сильное поле, которое и намагничивает образец. Однако и Майчелль, и Кэнтон, и Дюамель пришли к этому методу чисто эмпирически. Эпинус же в своем трактате подверг его тщательному разбору. Он показал с помощью приближенных расчетов, какое положение магнитов является оптимальным, чтобы по возможности удаленные концы этих же магнитов не вызывали обратного действия на образец. Далее, он обратил серьезное внимание на то, что магниты, надлежаще расположенные, подмагничивают друг друга и подмагничиваются самим же образцом вследствие открытой им магнитной индукции. Таким образом, Эпинус разработал ряд приемов (§§ 269—273), позволяющих путем такого взаимного подмагничивания довести до наибольшего остаточного намагничения (по Эпинусу — „насыщения) серию одинаковых стержней, первоначально очень слабо намагниченных. Это имело для практики XVIII в. первостепенное значение. В известной мере изобретение Эпинуса перекрывалось методом, предложенным Антольмом, с тою, однако, разницей, что последний чисто эмпирически нашел некоторые из тех приемов, которые Эпинус вывел из теоретических соображений.

Следует подчеркнуть, что хотя Эпинус пользовался при этом своей моделью магнитной жидкости, неприемлемой с точки зрения современной нам науки, результаты, полученные им, в общем остаются правильными.

Методы Кэнтона, Майчелля и Дюамеля, как и методы Эпинуса и Антольма, подвергались проверке и сравнению неоднократно как в повседневной практике той эпохи, так и в исследованиях крупнейших ученых. Наиболее тщательное из них осуществил Кулон в 1801 г.[1] Он пришел к выводу о пригодности метода Эпинуса даже для толстых брусков. „В том случае, — говорит он, — когда требуется намагнитить

[1] Coulomb. Résultats des différents methodes employées pour donner aux lames et aux barreaux d'acier le plus grand degré de Magnétisme. Mémoires (1882), p. 365.

бруски толщиною в 4—5 миллиметров и когда нельзя для этого воспользоваться двумя связками брусков, заранее очень сильно намагниченных, метод Эпинуса остается предпочтительным перед всеми, несмотря на отмеченный нами в нем маленький недостаток".[1]

В заключение Эпинус впервые рассмотрел подробно методы намагничивания подковообразных магнитов и в общем правильно разъяснил роль железной арматуры (ярма) в уменьшении саморазмагничивающего действия (коэффициента размагничивания) постоянных магнитов.

О некоторых явлениях, происходящих в телах, погруженных в электрический и магнитный вихрь, и о магнетизме земли

Механистические материалисты XVIII в. именовали магнитное поле „магнитной атмосферой" или „магнитным вихрем", так как они полагали, что взаимодействие между намагниченными телами или между магнитом и железом может быть объяснено механическими движениями материи (электрической или магнитной) в пространстве, окружающем эти тела. Эпинус придерживался, как уже мы отмечали, иной, ньютонианской, позиции. Поэтому, применяя здесь, в заголовке главы IV, общепринятый в то время термин „вихрь", Эпинус счел необходимым подчеркнуть тот смысл, который он приписывает этим словам, „дабы читатели не придали им значения, чуждого той мысли, которую я в них вкладываю... Я никогда не рассматривал магнитную и электрическую материю как нечто, находящееся вне тел, или как нечто, окружающее их; отсюда ясно, что термины «вихрь» и «атмосфера» не употреблены мною в их собственном значении. Поэтому, когда эти слова в дальнейшем будут встречаться, необходимо помнить, что с моей точки зрения этими терминами обозначается только то, что

[1] Небольшую неравномерность распределения намагниченности.

обычно называется «сферой деятельности» (sphaera activitatis). У меня эти слова не обозначают ничего иного, кроме пространства, на которое во все стороны распространяется доступным чувствам образом притяжение и отталкивание вокруг любого тела“ (§§ 274, 275).

Развивая далее эту мысль, Эпинус отмечает, что читателей может поразить такое отрицание „электрической атмосферы в собственном смысле слова“, в существовании которой никто обычно не сомневается. „Даже сам знаменитейший Франклин заявляет, что он держится такого взгляда, хотя это и противоречит его теории“. Эпинус продолжает: „... бо́льшую часть электрических явлений, особенно же тех, которые не зависят от фактического перехода материи из одного тела в другое, я вывожу из действия электрической материи, заключенной в порах наэлектризованного тела, ... я никогда не прилагаю этого слова к вихрю или атмосфере в прямом смысле“.

Далее Эпинус указывает, что воздух, разумеется, также обладает электрическими свойствами и поэтому в теории электричества нельзя упускать из виду некоторой его роли в этих явлениях, поэтому он не возражает против того, чтобы именовать наэлектризованный воздух „электрической атмосферой“, однако он обращает внимание на то, что „воздух играет незначительную роль или не играет никакой роли в возникновении большей части электрических явлений. Это легко видеть и из того, что если даже при помощи меха мы устроим ветер, удаляющий эту атмосферу от наэлектризованного тела, тем не менее эти электрические явления будут протекать с таким же результатом, к которому они обычно приводят, когда эта атмосфера спокойно окружает тело“.

Эпинус категорически утверждает, таким образом, что имеющиеся опытные факты ничем не доказывают существования особой электрической атмосферы в том смысле, как это понималось в то время. Хотя он при этом ничего

не говорит о магнитном поле, однако очевидно, что он точно так же отрицает и „магнитную атмосферу“ в том механистическом смысле, как это понимало большинство авторов XVIII в. К этому вопросу мы еще вернемся вместе с Эпинусом в дальнейшем.

Далее он обращается к проблеме о силах, действующих на подвижный магнит вблизи другого, неподвижного магнита. Этот вопрос является подготовкой к изучению действия земного магнитного поля на магнитную стрелку. Эпинус ищет положение равновесия, которое должен стремиться занять подвижный магнит. И он приходит к заключению, сделанному еще в конце XVI в. Гильбертом, что „положение стрелки, переносимой в различные места земного шара, меняется по закону, весьма сходному с тем, по которому обычно происходят изменения, когда стрелка обводится вокруг неподвижного шарообразного магнита“ (§ 290). Таким образом, Эпинус уверенно высказывается за то, что „внутри земного шара заключено огромное ядро, состоящее из материи, близкой к железу, наделенное магнитной силой“, ось которого, однако, не вполне совпадает с осью вращения земли.

Эпинус ставит вопрос: „Откуда же это ядро получило ту магнитную силу, которой оно обладает, и какова была причина, побудившая магнитную материю выйти из одного полушария и перейти в другое?“. Он вынужден заявить, что ему „не известна никакая механическая причина, обусловившая возникновение этого явления“, так как суточное вращение земли этого вызвать не может. Прийдя к такому выводу, он отмечает, что многие особенности строения солнечной системы точно так же непонятны даже тем, кто в совершенстве знает астрономию. Не найдя решения этих вопросов в научном плане, т. е. не обнаружив действующих причин, которыми можно было бы все это объяснить, Эпинус с тонким юмором подвергает критике тех физиков, которые пытаются установить, какими

целями руководствовался бог, снабжая земной шар магнетизмом. Указав, что этих мотивов он не знает, Эпинус говорит: „Магнитная сила, которой обладает земной шар, приносит большую пользу роду человеческому“, указывая ему путь через моря. „Тем не менее, — продолжает он, — я не решаюсь признать человека первоцелью создания магнетизма. Во-первых, в течение многих веков применение магнитной стрелки оставалось неизвестным; следовательно, придется признать, что это замечательное свойство земного шара столь долго оставалось бесплодным; во-вторых, такой взгляд, повидимому, основывается на мнении, будто вселенная создана на потребу человека; однако эта теория, принимаемая без ограничений, уже запятнала многочисленными заблуждениями ту благороднейшую часть физики, которая говорит о цели вещей“ (§ 290).

Таким образом, Эпинус пользуется каждым случаем, чтобы высказать свое отрицательное отношение к теориям богословского направления.

Далее он рассматривает теорию астронома Галлея о том, что магнитное ядро медленно изменяет свое положение по отношению к земному шару, и Эпинус приходит к выводу, что эта теория ничем не доказана и что решение геомагнитных проблем останется в удел будущим векам.

Рассмотрев действие магнита на подвижный магнитный диполь, Эпинус обращается к действию электрического поля на электрический диполь. Он описывает чрезвычайно изящный опыт с искусственной „электрической“ стрелкой, который наглядно показал, „что и в этом случае электрические явления согласуются с магнитными; если бы земной шар был бы электрическим (подобно тому, как он в действительности магнитный), то можно было бы изготовить электрическую стрелку, показывающую определенное направление“ (§§ 293, 294).

В торжественной „Речи о сходстве електрической силы с магнитною“ (стр. 387) и в петербургском „Мемуаре

содержащем точное описание опытов, проведенных с турмалином" (стр. 417) Эпинус отметил обстоятельство, которое привело его к убеждению об аналогии между электрическими и магнитными явлениями. Этому способствовало открытие им пироэлектрических свойств турмалина. При изучении турмалина Эпинусу впервые удалось обнаружить, что этот минерал после нагревания получает различную электризацию на концах, т. е. проявляет свойства электрического диполя, аналогичного магниту. В своем трактате Эпинус не останавливается на свойствах турмалина.

Углубляя вопрос о силах, действующих на магнитный диполь, Эпинус рассматривает следующую задачу. Пусть имеется магнит. Около него расположена очень короткая стрелочка („так что ее длину можно считать равной нулю"), которая может свободно вращаться около оси, проходящей через центр стрелки. Какова будет форма кривой, которую должен описать центр стрелки, двигаясь от одного полюса магнита к другому, если в каждой точке этой кривой направление стрелки совпадает с направлением касательной к кривой (§§ 297—301). Таким образом, Эпинус впервые поставил вопрос о нахождении уравнения силовых линий. Он отмечает два затруднения. Во-первых, „неизвестно функциональное выражение этих притяжений и отталкиваний". Во-вторых, „форма магнита и распределение по нему магнитной материи настолько различно, что создает бесконечное число неправильностей в этих кривых. Но чтобы не столько показать, сколько дать понять в общих чертах, какова природа этой кривой" Эпинус принимает, 1) что магнит прямой и обладает точечными полюсами со строго одинаковым количеством магнетизма в каждом из них и 2) что силы действуют обратно пропорционально первой степени расстояния от полюса до центра пробной стрелочки. Автор не поясняет, чем вызван выбор именно такого, как он сам подчеркивает, „произвольного предположения" о форме зависимости силы от расстояния. Повидимому, этот выбор об-

условлен желанием получить результат по возможности более простым путем, поскольку он должен служить лишь приближенной демонстрацией картины силовых линий. Путем довольно громоздких вычислений, естественных для XVIII в., Эпинус приходит к совершенно правильному заключению, что для этого случая все силовые линии являются отрезками кругов.

Получив этот результат, Эпинус обращается к вопросу об опытной проверке этого результата посредством опилок. Он исследует механизм расположения опилок вдоль силовых линий. Эпинус отмечает, что маленькие стрелочки, насыпанные на бумагу, не могут фактически перемещаться к полюсам „вследствие трения, оказывающего сопротивление движению такого рода частицы. Однако сила, исходящая из ... полюсов, ... может тем не менее быть достаточной для того, чтобы придать частице такое положение, какое она имела бы, если бы могла свободно вращаться вокруг своего центра". Опыт с опилками показывает, говорит он, что кривые очень близки к эллипсам. Эпинус вновь напоминает, что некоторое расхождение между теорией и опытом вызвано тем, что им принято произвольное предположение о линейном законе. „А я не утверждаю, — продолжает он, — что это именно тот закон, которому следуют магнитные действия". В ряде опытов, указывает он, линии незначительно отличались от круговых дуг (повидимому, речь идет о линиях, близких к полюсам, которые действительно должны мало отличаться от круговых). „Однако, — пишет Эпинус, — я не делаю из этого никаких выводов для установления закона магнитных действий, так как должен признать, что в таких случаях зрение очень обманчиво".

Но зато Эпинус делает другой, очень важный вывод: „Теперь ясно на основании сказанного выше, каким образом можно из законов магнитных притяжений и отталкиваний вывести то правильное расположение железных опилок, рассыпанных вокруг магнита, которому так изумлялись есте-

ствоиспытатели, причем большинство из них считали (как я полагаю, ошибочно) существование этих линий за очевидное доказательство существования настоящего магнитного вихря, т. е. потока магнитной материи, постоянно движущегося от одного из полюсов к другому". „Для их объяснения,— продолжает Эпинус,— нам нет нужды ... в магнитном вихре в собственном смысле этого слова или в жидкости, которая фактически течет от одного полюса к другому".

Эта формальная трактовка действий магнитного и электрического поля, впервые введенная в физику Эпинусом, получила такое признание и распространение к концу XVIII и в начале XIX в., что М. Фарадей в своих „Экспериментальных исследованиях по электричеству" вынужден был отметить: „Уважение, которое я питаю к именам Эпинуса, Кэвендиша, Пуассона и других выдающихся людей, которые, как мне кажется, все в своих теориях рассматривают индукцию как действие на расстоянии и притом по прямым линиям, долгое время мешало мне принять только что изложенное мнение (представление о том,— *Я. Д.*), что электрическое действие на расстоянии (т. е. обыкновенное индуктивное действие) происходит не иначе, как через посредство промежуточного вещества".[1]

Однако следует подчеркнуть, что и сам Эпинус не был вовсе сторонником дальнодействия, как он об этом и указывает в предисловии к данному трактату.

Продолжая изучение доказательств, свидетельствующих о том, что внутри земного шара заключено магнитное ядро, Эпинус очень подробно разбирает в дальнейшем известный факт, замеченный в свое время еще Гильбертом, что железные прутья намагничиваются земным полем, причем намагничивание это зависит от положения прута. Эпинус показывает, что и этот опыт во всех своих подробностях согласуется с представлением о магнитном ядре.

[1] М. Фарадей. Экспериментальные исследования по электричеству, т. I. Изд. Акад. Наук СССР, 1947, стр. 480, § 1165.

Вместе с тем он выдвигает следующее возражение, которое затем тщательно исследует. Если земное ядро аналогично магниту, то оно должно не только поворачивать магнитную стрелку, но и притягивать ее, как и любой кусок железа, и Эпинус перечисляет возможные эксперименты, в которых это могло бы проявиться. Так, должна была быть замечена разность показаний весов в зависимости от расположения исследуемого образца по отношению к магнитным полюсам земли. Далее, это должно было бы приводить к тому, что магнитная стрелка, помещенная на пробке, плавающей на воде, должна была бы не только ориентироваться по полю, но двигаться по направлению к одному из полюсов. Далее, стальной намагниченный прут, подвешенный вертикально за один конец, должен бы отклониться от линии отвеса. Однако, подчеркивает Эпинус, все подобного рода опыты приводят к отрицательному результату, и поэтому можно сомневаться, правильно ли мы утверждали, что земной шар намагничен.

Эпинус фактически впервые показал, что заметное притяжение или отталкивание магнитного диполя в магнитном поле может иметь место лишь в том случае, если это магнитное поле в том месте, где расположен диполь, обладает заметным градиентом, так что магнитные силы, действующие на концы диполя, отличны по своей абсолютной величине (§§ 333—341). Этот расчет был им сделан на основе предположения о квадратичной зависимости силы от расстояния. Однако автор отмечает: „Я не потому предположил здесь существование этого закона, что я считаю его истинным законом природы, но для того, чтобы на каком-либо определенном примере с помощью определенных чисел все мои рассуждения стали более отчетливыми и очевидными“.

Рассмотрев этот вопрос, Эпинус вновь обращается к явлению намагничения железных и стальных прутьев в магнитном поле земли и показывает, что это явление протекает в точном согласии с его теорией. Из теории следует, что этот

эффект должен быть тем больше, чем мягче железо, и, во-вторых, что намагниченность жесткого прута должна сама собою постепенно увеличиваться. Эпинус объясняет зависимость намагниченности от времени постепенным пересасыванием магнитной жидкости сквозь поры прута. Современная нам наука объясняет это же явление постепенным рассасыванием магнитострикционных упругих напряжений и диффузией примесей.

Вышеизложенная теория применяется Эпинусом для объяснения намагничения руд в недрах земли неглубоко под поверхностью. В течение многих столетий, говорит он, ядро земли постепенно намагничивает эти рудные залежи. „Таким образом, как я полагаю, — пишет Эпинус, — и появились естественные магниты, которые извлекаются ежедневно на поверхность из железных рудников".

Отметив, что они ни в коем случае не могут являться частью внутреннего магнитного ядра, Эпинус продолжает: „Ведь, очевидно не только то, что описанным образом могут возникать магнитные руды, но также (если, как полагает большинство физиков, еще и ныне возникают металлы) не может быть сомнения в том, что указанным способом ежедневно все еще возникают и получаются в недрах земли новые магниты. Итак, как мне кажется, не должен вызывать сомнений мой взгляд, согласно которому все магниты, которые когда-либо вывел на свет из глубин земли упорный человеческий труд, созданы природой описанным способом" (§ 347).

В подтверждение своей точки зрения Эпинус приводит следующие опыты: образец немагнитной разновидности железной руды, извлеченный из земли, не может быть также намагничен искусственным образом, наоборот, естественная намагниченность магнитных пород может быть усилена искусственным путем. Наконец, он указывает и на то, что часть руд не способна сохранять намагниченность, т. е. не обладает гистерезисом. Эпинус сообщает о целом ряде опытов

при которых обжиг немагнитных гематитовых руд переводит их в ферромагнитное состояние.

Эпинус ошибочно полагает, что магнитные руды содержат мельчайшие пылинки самородного железа, вкрапленные в каменную материю, которая защищает их от действия подземных вод. В связи с этой гипотезой он развивает свою теорию образования самородных металлов в земле.

Следует напомнить, что вскоре после своего прибытия в Россию, 6 сентября 1757 г., Эпинус присутствовал на торжественном Общем собрании Академии, на котором М. В. Ломоносов произнес свое „Слово о рождении металлов от трясения земли", и, вероятно, познакомился с его латинским текстом. Некоторые идеи, высказываемые Эпинусом в 1758—1759 гг., повидимому, были навеяны этим докладом Ломоносова.

Известно, что Ломоносов в этом „Слове" решительно утверждал, в отличие от тогдашних представлений о неизменности земной поверхности, что „земная поверхность ныне совсем иной вид имеет, нежели каков был издревле".[1] Эта революционная для XVIII в. мысль неожиданно высказывается и Эпинусом в его трактате: „... хорошо известно, каким изменениям подвергся земной шар с древнейших времен".

Для того чтобы развить свою гипотезу об образовании самородного железа, Эпинус исходит из общепринятой теории флогистона. Он полагает, подобно большинству химиков того времени, что восстановление металла из окисла представляет собою процесс присоединения горючей материи — флогистона, т. е. результат обжига. И Эпинус пытается выяснить, откуда „к металлической земле присоединился флогистон и сама она превратилась в настоящий металл". Этот вопрос как раз и исследовал Ломоносов в своем „Слове". Ибо, хотя Ломоносов не считал флогистон материей самого огня, он все же в общем держался в то время флогистиче-

[1] Б. Н. Меншуткин, ук. соч., стр. 473.

ских представлений и полагал, что огонь поддерживается горючей или серной материей и „ни один металл без нее не рождается".[1] Наличие в земле органических остатков Ломоносов отмечает как изобильный источник этой горючей материи, поэтому он и утверждает: „Вмешенные части растений и животных к рождению металлов служат".[2] Ломоносов говорит: „Родятся ли металлы и ныне беспрестанно или от создания мира с протчими вещами сотворены... Много с обеих сторон доказательств имеем... Спор... разрешен не будет, пока химическим рачением из тел неметаллических знатное количество какого-нибудь металла произведено не будет... Ибо искусством учиненное рождение или превращение металлов служило бы в доказательство натурального... Довольствуясь одним доводом сходства, с тою стороною согласен быть признаваюсь, которая утверждает, что и поныне металлы родятся".[3] В соответствии с этими словами Ломоносова Эпинус пишет: „Действительно подземный огонь, воспламенившись по какой-либо случайной причине, мог зажечь магнитоупорные железные руды, еще бывшие тогда скрытыми в лоне земли, и превратить их в такие, которые содержат чистое железо и притягиваются магнитом". Эпинус на опыте прокаливал железные руды „не только... в открытом пламени углей", но и подвергал их „цементации с помощью сильного пламени, с прибавлением большого количества флогистона", и действительно обнаружил увеличение ферромагнетизма. Подлинная причина этого явления, с точки зрения современной науки, заключается в совершенно ином, а именно в удалении кристаллизационной воды и переходе гематита в иную кристаллическую модификацию, но Эпинус, подобно Ломоносову, считал его за „искусством учиненное рождение" металлов и полагал свою теорию тем самым доказанной.

---

[1] Там же, стр. 474.
[2] Там же, стр. 475.
[3] Там же, стр. 476.

Обращаясь далее к вопросу о причине суточных изменений геомагнитных элементов, к вопросу о причине явлений, именуемых ныне „магнитными бурями“, Эпинус ошибочно полагал, что ее надо искать „ в возникновении и разрушении магнитных руд“, в том, что „землетрясение ломает слои магнитных руд, и, сломав их, разбрасывает в разные стороны“.

В последней части этой главы Эпинус рассматривает вопрос о возможности использовать земное поле для намагничивания компасных стрелок без применения естественных магнитов. Комбинируя прутья из мягкого и твердого железа, применяя усовершенствованный метод двойного прикосновения и учитывая направление действия земного поля, Эпинус действительно разработал методику, которая, как мы уже указывали, для XVIII в. имела огромное практическое значение.

Изучая при этом детали процесса намагничения, Эпинус останавливается на одном очень важном опытном факте, наблюденном еще Франклином, — появлении намагничения в железных предметах, пораженных молнией. Эпинус объясняет это явление тем, что молния вызывает механическое сотрясение и облегчает перемещение магнитной жидкости. „Повидимому, ошибаются те, которые считают, что этот опыт бросает некий свет на таинственную связь между электричеством и магнетизмом. Нет никакой причины, которая вынуждала бы нас допустить, что электрическая сила действует здесь как таковая“ (§ 371).

При чтении этих строк у современного читателя возникает вопрос: каким образом могли такие выдающиеся ученые XVIII в., как Эпинус, проглядеть магнитное поле электрического тока, когда фактически в их руках были уже результаты, почти аналогичные опытным данным Эрстеда? Невольно возникает вопрос, почему электромагнетизм оставался неизвестным почти вплоть до 1820 г.

При внимательном рассмотрении этих явлений выясняется не только причина такой задержки исторического открытия

электромагнетизма, но и обнаруживается парадоксальное, на первый взгляд, обстоятельство: объяснение Эпинуса было весьма близко к истине.

Дело заключается, прежде всего, в том, что обнаружить циркулярное магнитное поле, окружающее проводник с током, можно было лишь тогда, когда был открыт источник постоянного тока, которым ученые XVIII в. не располагали. Во время быстрых колебательных разрядов лейденской банки нельзя заметить никакого смещения магнитной стрелки. Следовательно опыт Эрстеда в эпоху Эпинуса был вообще неосуществим. Ученые XVIII в. могли обнаружить лишь остаточное намагничение после прохождения разряда.

Но следует заметить, что после прохождения колебательных разрядов через железные стержни наблюдается не циркулярное намагничение, а некоторая степень продольного намагничения, вызванная соответствующими внешними местными полями и, в частности, земным полем. Колебательный разряд в данном случае, при наличии постоянного земного поля, действует так же, как наложение переменного магнитного поля на постоянное поле. Иными словами, электрический разряд вызывает упругие магнитострикционные колебания и тем самым облегчает появление продольного намагничения в постоянном поле. Таким образом, объяснение Эпинуса оказывается в общем правильным с точки зрения современной науки.

К этому основному материалу книги Эпинус приложил две свои статьи, где рассматривается применение его теории к двум частным случаям. Первый относится к одному опыту Г. В. Рихмана по электричеству, описание которого было найдено в его бумагах и опубликовано Ломоносовым в 1758 г., т. е. тогда, когда Эпинус как раз работал над своим трактатом.[1] Второй относится к одному магнитному эксперименту

[1] Рассмотрение этого частного вопроса читатель найдет в примечании 103 к „Опыту теории электричества и магнетизма“, где также приведен и соответствующий отрывок из труда Рихмана.

неизвестного автора. Эпинус показывает, что его теория позволяет полностью объяснить результаты обоих этих опытов.

Таково вкратце содержание трактата Эпинуса.

Необходимо подчеркнуть, что на всем протяжении этого огромного труда Эпинус проявляет удивительную осторожность в своих высказываниях. Каждое свое предположение он старается подкрепить расчетом и прежде всего опытом. Недаром в одной из своих речей он сказал: „С давних пор я не могу без дрожи выдвигать теорию и, осмеливаясь предложить некоторые соображения, я всегда опасаюсь ошибки“.[1]

Мы дополняем капитальный трактат Эпинуса тремя другими его сочинениями. Во-первых, воспроизводим здесь знаменитую „Речь о сходстве електрической силы с магнитною“, уже неоднократно упоминавшуюся нами. Далее, публикуем его „Мемуар, содержащий точное описание опытов, проведенных с турмалином“ и „Дополнение“ к нему, написанные автором в августе 1758 г. в Петербурге, которые появляются на русском языке впервые. Они нам представляются важными, во-первых, потому, что в них изложена предистория эпинусовского трактата, во-вторых, потому, что здесь излагаются многие опыты, выполненные, очевидно, в Петербурге в период 1757—1758 гг., в-третьих, наконец, потому, что эта стройная и четкая работа особенно ярко показывает Эпинуса в качестве тонкого и вдумчивого исследователя. Следует особо отметить, что в этой работе Эпинусу впервые удалось экспериментально доказать, что „нельзя создать один вид электричества без того, чтобы не создать другой“. Это позволило ему фактически впервые установить закон сохранения количества электричества: *„Если я хочу в каком-либо теле увеличить количество электрической материи, я должен неизбежно взять ее вне его и, следовательно, уменьшить ее в каком-либо другом теле“*.

[1] Ф. У. Т. Эпинус. Рассуждение о разделении теплоты по земному шару. СПб., 1761.

Таким образом, закон сохранения количества электричества, являющийся частным случаем всеобщего закона сохранения материи и движения Ломоносова, можно по справедливости называть законом Эпинуса.

IV

Теория Эпинуса получила в XVIII в. широкую известность, однако трактат его был изучен лишь очень немногими физиками.

Теория Эпинуса стала известна из его „Речи о сходстве электрической и магнитной силы", выпущенной Петербургской Академией Наук в 1759—1760 гг. на четырех языках — русском, немецком, французском и латинском. Уже в 1760 г. в Лейпциге вышло самостоятельное немецкое издание той же речи. Трактат же был выпущен одним единственным изданием и, насколько нам известно, никем никогда не переиздавался. Уже через 15 лет он представлял собою редкость. Так, в августе 1775 г. А. Вольта в письме к своему другу, канонику Фромонду, писал:

„Одна книга мне крайне необходима для мемуара, который я намерен опубликовать, это «Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi» Епина. Я чрезвычайно хотел бы его увидеть. Прочитав его мемуар о турмалине, я лишь недавно узнал, что его принципы не отличались от моих, и это меня весьма волнует".[1]

Три года спустя (1778) Вольта в мемуаре, написанном в виде письма к физику Де-Соссюру, упоминая об опыте с воздушным конденсатором Эпинуса, писал: „Этот действительно оригинальный эксперимент изложен и разъяснен в глубочайшем труде Епина («Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi»), опубликованном двадцать лет тому назад, но представляющем собою большую редкость. Я имел случай лишь однажды пробежать его самым беглым образом

[1] A. Volta. Le Opere, v. III. Milono, 1918—1929, p. 113.

и я осмелюсь сказать, что он, повидимому, недостаточно известен или плохо понят большей частью физиков, которые писали относительно электричества".[1] В том же мемуаре Вольта указывает и на причину своего глубокого уважения к этому трактату: „... Силу притяжения и отталкивания приписал электрической жидкости и заставил служить своей теории великий Франклин. На ней построил Епинус свою теорию, изумительнейшим образом иллюстрирующую и расширяющую теорию американского физика. В своем труде необыкновенной глубины («Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi») он свел ее к вычислению и подчинил формуле, состоящей из двух элементов: притяжения и отталкивания".[2]

В 1771 г. Г. Кэвендиш в Англии опубликовал „Попытку объяснения некоторых из важнейших явлений электричества посредством упругой жидкости". В самом начале этого мемуара он писал: „После того как я впервые написал эту статью, я увидел, что этот путь рассмотрения электричества не нов. Эпинус в своем «Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi» (Petropoli, 1759) применил ту же, или почти ту же гипотезу, что и я; и те заключения, которые он выводит из нее для тех пределов, до которых он доходит, почти совпадают с моими".[3] „Впрочем, — продолжает Кэвендиш, — поскольку я развил эту теорию гораздо дальше, чем он, и рассмотрел этот предмет иным и, я позволю себе польстить, более точным образом, я надеюсь, что Общество не сочтет эту статью недостойной и примет ее".[4] Таким образом, за 11—15 лет, последовавшие за выходом трактата в свет, и Кэвендиш в Англии и Вольта в Италии развивали и углубляли воззрения Эпинуса.

---

[1] Там же, p. 210.

[2] Там же, p. 236.

[3] H. Cavendish, Phil. Trans. of the Roy. Soc. for 1771, v. LXI, p. 584.

[4] То же.

В новом издании курса Мушенбрёка „Introductio ad philosophiam naturalem“ (Лион, 1762; первое издание под заглавием „Elementa physicae“ вышло в 1734 г.) были подробно изложены экспериментальные исследования и теоретические воззрения Эпинуса в области электричества, хотя автор и не сочувствовал ньютоновскому методу. Повидимому Мушенбрёк относился резко отрицательно к теории магнетизма Эпинуса, так как ее он обошел в учебнике полным молчанием.

Знакомство с трактатом Эпинуса проходит красной нитью через все семь классических мемуаров Кулона по электричеству и магнетизму, опубликованных с 1785 по 1789 г. Во втором мемуаре он упоминает о магнитной стрелке, намагниченной по методу, „который описал и практиковал г. Эпинус в соответствии со своей превосходной теорией магнетизма и электричества“.[1] Свой знаменитый закон Кулон формулирует в этом мемуаре в терминах теории Эпинуса. А именно: „...сила притяжения и отталкивания жидкости магнитной, точно так же, как и жидкости электрической, находится в прямой зависимости от плотностей и в обратной зависимости от квадрата расстояний между магнитными молекулами“.

В своих дальнейших исследованиях Кулон вносит исправления и улучшения в теорию Эпинуса, склоняясь постепенно к теории двух противоположных электричеств.

Приведенных примеров достаточно, чтобы показать, какую огромную роль играла теория Эпинуса в развитии физики электричества и магнетизма того времени. Однако неудачное расположение материала в трактате Эпинуса, большое число вычислений и, наконец, редкость самого издания затрудняли ознакомление широких кругов исследователей с книгой. Это обстоятельство побудило в 1787 г. известного французского физика Гаюи (Haüy, 1743—1822) предпринять издание небольшой научно-популярной книжечки под заглавием: „Систематическое изложение теории электричества и магнетизма,

---

[1] Coulomb, ук. соч., стр. 127.

согласно принципам г. Эпинуса, члена Академий Петербурга, Турина и т. д.“.[1]

Книга аббата Гаюи отличается чрезвычайной стройностью расположения материала и ясностью изложения. Она была представлена в Парижскую академию на предмет получения одобрения. Приложенный к книге отзыв о ней, составленный крупнейшими французскими математиками и физиками-геометрами (т. е. физиками-теоретиками) того времени, а именно Лапласом (1749—1827), Кузеном (1739—1800) и Лежандром (1752—1833), представляет значительный интерес, поскольку он посвящен фактически не столько книге Гаюи, сколько подробной оценке научного значения трактата Эпинуса.

В этом отзыве говорится:

„Теория Франклина уже значительно прояснила явления электричества, когда г. Эпинус задался целью увеличить степень совершенства теории и распространить ее на менее разнообразные, но не менее интересные явления магнетизма. Труд, в котором собраны различные исследования петербургского академика, появился в 1760 г. под заглавием «Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi». Он основывается на столь малом числе принципов, что мы не можем не упомянуть о них.

„Принципы в области электричества сводятся к двум: 1) молекулы электрической жидкости взаимно отталкиваются, но притягиваются всеми известными телами; 2) имеются тела, которые позволяют электрической материи двигаться свободно, и тела, в которых она перемещается с большим трудом без того, однако, чтобы имелась абсолютная непроницаемость.

„Теория магнетизма предполагает: 1) что молекулы магнитной жидкости отталкиваются друг от друга и притягиваются

---

[1] Exposition raisonnée de la théorie de l'Electricité et du Magnétisme, d'apres les principes de M. Aepinus des Académies de Pétersbourg, de Turin etc. par M. l'Abbé Haüy. Paris, 1787.

исключительно железом в металлическом состоянии; 2) что тела, способные намагничиваться, позволяют этой жидкости двигаться сквозь себя лишь с большим трудом, а допускают переход этой жидкости в заметных количествах в соседние тела. А для того, чтобы объяснить самопроизвольный магнетизм некоторых тел, а также постоянное направление намагниченной стрелки, необходимо допустить в качестве третьего принципа, что притяжение земного шара эквивалентно действию ядра, расположенного в его центре и наделенного большой магнитной силой.

„Этих принципов при искусном оперировании оказывается достаточно для объяснения самых необыкновенных явлений электричества и магнетизма и охватить малейшие их особенности и точно предвидеть, что получится из запроектированного эксперимента. Но г. Эпинус не ограничился одним лишь изложением уже известных фактов и внесением точного расчета в такие вопросы, которые представлялись мало доступными для этого; он, кроме того, обогатил науку многими замечательными открытиями.

„В теории электричества он отметил, что электризованное тело не производит никакого действия на неэлектризованное; он является изобретателем электрофора или эксперимента, заменяющего таковой; наконец, он первый заметил, что в лейденском эксперименте[1] стекло может быть заменено воздушной прослойкой и что получаемое при этом потрясение оказывается более слабым лишь потому, что слою воздуха приходится придавать значительную толщину.

„Теория магнетизма, целиком принадлежащая г. Эпинусу, делает ему еще больше чести. Он первый показал, что направляющее действие земли на магнитные стрелки может быть заметным без того, чтобы обнаруживалась притягательная сила. Он значительно усовершенствовал метод намагничения гг. Майчелля и Кэнтона. Наконец, он предложил

[1] Т. е. в эксперименте с лейденской банкой, — *Я. Д.*

новые методы возбуждения магнитной силы наивысшей степени, не прибегая вообще к помощи какого-либо магнита — ни естественного, ни искусственного.

„Труд Эпинуса принадлежит, несомненно, к числу тех, которые должны создать эпоху в истории наук, и даже если отдельные пункты системы, на которой он основан, окажутся опровергнутыми, то все же этот труд содержит достаточно вещей, не зависимых от теории, чтобы заслужить внимание физиков. Один единственный принцип теории Эпинуса, повидимому, трудно допустить, хотя он и является непосредственным следствием принципов, нами уже упомянутых,—это взаимное отталкивание молекул тела. Однако, если принять во внимание, что речь идет здесь не об абсолютных отталкиваниях и притяжениях, но об эффектах, которые могут зависеть от любой причины, например от наличия двух жидкостей, как это полагают многие физики, то окажется менее затруднительным принять гипотезу, которая опирается на очень большое число фактов и которая, помимо того, отнюдь не противоречит здравой физике.

„Нельзя упустить из виду, что труд г. Эпинуса обладает достоинством точности, которая введена благодаря расчету, точности, которая может быть лишь в весьма совершенной науке. Но это, являясь достоинством с точки зрения физиков-геометров, становится препятствием для тех, кто обладает слишком малыми знаниями математики. Поэтому г. аббат Гаюи считал, что он окажет важную услугу физике, сведя к простому размышлению вычисления г. Эпинуса и сделав таким образом общедоступным малоизвестный, но достойный внимания труд“. Таково заключение Лапласа, Кузена и Лежандра.

В самом деле, если пожелать наглядно отобразить ту роль, которую сыграл „Опыт теории электричества и магнетизма“ петербургского академика Эпинуса в истории физики, то можно сказать, что он был такой же вехой в науке XVIII в., какой явился „Трактат об электричестве и магнетизме“ К. Максвелла в науке XIX в. И подобно тому, как теория

Максвелла облекла в строгую математическую форму приближенные представления Фарадея, так теория Эпинуса расширила, развила и свела к точным математическим формулировкам воззрения Франклина.

Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что далеко не случайно русская физика XVIII в., выдвинувшая Ломоносова и Рихмана, вовлекла в свою орбиту и Эпинуса. Между опытными исследованиями Ломоносова и Рихмана, с одной стороны, и теоретическими работами Эпинуса, с другой, при всем различии их научных воззрений и методов, существует известная историческая связь. Трактат Эпинуса, положивший начало количественным расчетам в теории электричества и магнетизма, явился исторически неизбежным шагом после работ Рихмана и Ломоносова, положивших начало количественным экспериментальным исследованиям электрических явлений.

Таким образом, введение количественной трактовки явлений в науку об электричестве и магнетизме представляет собою выдающуюся заслугу петербургских физиков XVIII в.

Открытие электрона и развитие электронной теории в начале XX в. вызвали у некоторых физиков мысль о том, что обнаружение на опыте свободного „электричества“ одного знака (—) указывает, что электричество противоположного знака (+) неотделимо от атомов вещества и, следовательно, представляет собою то, что Франклин и Эпинус, в отличие от „электрической жидкости“, называли „собственно материей“. Таким образом, открытие свободно существующих в природе электронов привело к временному возрождению унитарной теории. Выражением этой тенденции явилась опубликованная в 1902 г. статья известного английского физика В. Томсона (Кельвина) „Эпинус атомизированный“,[1] в которой он пытался

[1] См.: Новые идеи в физике. Сборник первый. Строение вещества. Под ред. проф. И. И. Боргмана, СПб., 1914, стр. 112.

применить эту гипотезу к строению молекул и атомов. Оставляя в стороне вопрос о самой гипотезе В. Томсона, явно потерявшей свое значение в наше время, следует заметить, что претенциозное заглавие его статьи по существу совершенно неудачно. В самом деле, это заглавие имело бы смысл, если бы Эпинус исходил из представления о сплошной электрической жидкости, а Томсон на основании новых открытий внес бы в эту теорию принцип прерывности. Но в действительности Эпинус, как и Франклин, с самого начала представлял „электрическую жидкость" состоящей из отталкивающихся друг от друга „частиц", причем именно Эпинус неоднократно рассматривает отдельные „частицы", стало быть „атомизировать" теорию Эпинуса не было ровно никакой необходимости.

Мощное развитие физики со времен Эпинуса, разумеется, не может мириться с положениями его унитарной теории, не может современная физика удовлетвориться и ньютоновским формализмом, который идеалисты уже не раз пытались использовать, как мы знаем, вопреки и Ньютону и Эпинусу.

Однако необходимо признать, что теория электричества и магнетизма Эпинуса, созданная им в Петербурге и изложенная в его знаменитом трактате, явилась в середине XVIII в. новым выдающимся вкладом в науку, оказавшим значительное влияние на развитие физики во всех странах.

Проф. *Я. Г. Дорфман.*

ПРИМЕЧАНИЯ

К „Опыту теории электричества и магнетизма“

1. Труд посвящается президенту СПб. Академии Наук графу Кириллу Разумовскому.

2. В 1757 г. СПб. Академией Наук был объявлен конкурс на тему об искусственных магнитах, содержавший следующие вопросы:

1) Каковы преимущества искусственных магнитов перед естественными?

2) Каков наилучший метод их изготовления?

3) Согласуются ли новые явления, обнаруженные у искусственных магнитов, с магнитной теорией в той мере, как она до сих пор их объясняет? Если нет, необходимо дать новое объяснение этих явлений.

Работы, представляемые на конкурс, должны были подаваться анонимно под девизом. Представлено было две диссертации. Результаты конкурса были рассмотрены на заседании Академической Конференции 27 августа 1759 г. См. примечание 6.

3. „Железные тела“ — в подлиннике „corpora ferrea“. Эпинус считает, что магнетизм, т. е. фактически ферромагнетизм, присущ исключительно телам, содержащим металлическое железо.

4. В 1756 г., см.: J. C. Wilcke. De electricitatibus contrariis. Rostock, 1757.

„Потрясение“ — в подлиннике „commotio“; этим термином в XVIII в. обозначался мгновенный разряд, который нередко осуществлялся через тело самого экспериментатора или подопытного человека и вызывал физиологическое потрясение. Опыт производился обычно с помощью стеклянной лейденской банки, причем стеклу приписывалась особая роль. Эпинус впервые заменил банку воздушным плоским конденсатором.

5. Метод намагничивания искусственных магнитов, именуемый „способом двойного прикосновения“, подробно описывается Эпинусом (стр. 223). Он был предложен английским физиком Дж. Майчеллем (John Michell, 1724—1793) в сочинении, опубликованном в 1750 г.: A treatise of

Artificial Magnets, in which is shown an easy and expeditious method of making them superior to the best natural ones („Трактат об искусственных магнитах, в котором излагается легкий и быстрый метод изготовления таковых, притом превосходящих наилучшие естественные магниты").

6. Ab una scintilla augetur ignis — от одной искры возгорается пламя (девиз заимствован из библии, Книга Экклезиаста). Сочинение, представленное неким Антольмом (Antheaulme), старшиной страхового общества (тонтины) Парижа, было удостоено премии Академии и опубликовано Петербургской Академией Наук на французском языке в виде отдельной книжки под названием „Dissertation qui a emporté le prix en 1760 au jugement de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Pétersbourg par M. Antheaulme Sindic des Tontines à Paris" („Диссертация, которая была удостоена премии в 1760 г. по решению императорской Академии Наук в С.-Петербурге, автор г. Антольм синдик тонтины в Париже").

Всего на конкурс, объявленный в 1757 г. (см. примечание 1), было представлено две диссертации: одна на французском языке под девизом „Ab una scintilla augetur ignis", другая на латинском языке под девизом „Quo foedere...". Судьями были назначены академики Браун, Цейгер и Эпинус. Эпинус представил следующее мнение:

„Из диссертаций, посвященных вопросу об искусственных магнитах, посланных на премию в Академию, первая, написанная по-французски,

„1) почти или совсем не касается магнитной теории; то немногое, что к ней относится, не достойно внимания. Наоборот, автор

„2) предлагает методы изготовления искусственных магнитов, которые, как я могу утверждать на основании собственных опытов, действительнее и лучше, чем принятые до сих пор, как я это подробнее показал в гл. 3 моего «Опыта теории магнетизма и электричества».

„Второе сочинение, написанное по-латыни, содержит много плохого и ничего такого, что заслуживало бы одобрения...". Далее следует разбор второго сочинения. (Протокол Академической Конференции от 27 августа 1759 г.).

7. Георг Вильгельм Рихман (1711—1753) — выдающийся физик, уроженец города Пернов, учился первоначально в Ревеле, Галле и Иене и прибыл в Петербург в качестве домашнего учителя в семью вице-канцлера графа Остермана. В 1735 г. поступил в Петербургскую Академию Наук студентом „физического класса". В 1740 г. избран адъюнктом, а в 1741 г. получил звание академика по кафедре теоретической и экспериментальной физики. Опубликовал большое число работ по вопросам теплоты и электричества и произвел, отчасти совместно с Ломоносовым, ряд исследований по атмосферному электричеству. 26 июля 1753 г. Рихман трагически погиб от удара молнии в своей домашней лаборатории во время изучения атмосферных разрядов.

8. „Франклинова теория электричества“ служит основой настоящего труда и подробно рассматривается автором. Теория эта предложена была Б. Франклином в 1747 г. и далее развивалась им в письмах, адресованных члену Лондонского королевского общества Коллинсону. Эти письма собраны в виде небольшой книжечки, вышедшей впервые в 1751 г. под заглавием: New experiments and observations on Electricity, made in Philadelphia in America by Mr. Benjamen Franklin, and communicated in several Letters to Mr. Collinson at London F. R. S. London.

В дальнейших изданиях этой книги постепенно Франклин добавлял новые письма по тем же вопросам. В немецком издании писем „Des Herrn Benjamen Frankline Esq. Briefe von der Elektrizität“, опубликованном близким другом и учеником Эпинуса известным физиком И. К. Вильке в 1758 г., последнее письмо Франклина датировано 1755 г. Вильке снабдил это издание подробными примечаниями, которые наглядно рисуют состояние вопроса в 1758 г.

9. Питер фан Мушенбрёк (Pieter van Musschenbroek, 1692—1761) — известный голландский физик. Его основные труды: „Elementa physices“ (1729), „Dissertatio de Magnete“ (1729), „Introductio ad philosophiam naturalem“ (издано посмертно, 1762). Мушенбрёк явился одним из первых крупных поставщиков физических приборов для Кунсткамеры Петра I.

10. Впоследствии Эпинус собрал все известные исследования различных авторов о пироэлектричестве турмалина в книге „Recueil de différents mémoires sur la tourmaline“ (С.-Петербург, 1762). В ней воспроизведен мемуар Эпинуса, опубликованный им в Известиях Берлинской академии в 1756 г., а также другой мемуар, который содержит точное описание новых опытов с турмалином, выполненных в Петербурге в августе 1758 г., и примечания к нему (стр. 415).

11. Ф. У. Т. Эпинус прибыл в Петербург из Берлина 10 мая 1757 г. (Архив Акад. Наук. Рапорт от 30 мая 1757 г.).

12. „Речь о сходстве електрической силы с магнитною, говоренная Ф. У. Т. Эпинусом 7 сентября 1758 г.“. С.-Петербург, 1760 (стр. 385).

13. „Тела, неэлектрические по своей природе“ и „тела, электрические по своей природе“ — в подлиннике: „corpora non per se electrica“ и „corpora per se electrica“, буквально: „тела, сами по себе неэлектрические“ и „тела, сами по себе электрические“. Эти термины были введены в науку французским физиком Ж. Т. Дезагюлье (J. T. Désaguliers, 1683—1744). В настоящее время „тела, не электрические по своей природе“ именуются „проводниками“, а „тела, электрические по своей природе“ — „диэлектриками“.

14. См. примечание 4.

15. „Магнит“ (в подлиннике „Magnes“) — минерал, магнитный железняк, или магнетит (Fe_3O_4).

16. „Положение о соразмерности природы“ — метафизический принцип Мопертюи (P. Maupertuis, 1698—1759), высказанный им в 1746 г. в сочинении „Les lois du mouvement et du repos déduites d'un principe métaphysique“. Принцип Мопертюи гласит: „Если в природе совершается само по себе какое-либо изменение, то требующиеся для него количества действия наивозможно малы“. Он был выведен путем произвольного распространения на все явления природы механического принципа наименьшего действия: $mvs = \min.$, где m — масса, v — скорость и s — пройденный путь. Впоследствии, однако, было показано, что эта формулировка механического принципа наименьшего действия не правильна. В действительности так называемый принцип наименьшего действия гласит:

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} (T - U)\, dt = 0,$$

где T — кинетическая, а U — потенциальная энергия. Он не содержит в себе никакого телеологического начала, которое ему пытался придать Мопертюи.

17. Необходимо иметь в виду, что автор пользуется здесь, как и во многих других местах, математическими символами лишь для того, „чтобы избежать излишней пространности обычной речи“. Он нередко не указывает, например, точки приложения сил и фактически не фиксирует достаточно строго их направления. Выведенные таким образом последующие формулы имеют весьма приближенный описательный характер и служат главным образом для установления направления процессов, подлежащих рассмотрению.

18. Здесь слово „электричество“ применено в смысле „электризация“.

19. Эпинус считает заряд равномерно распределенным по объему, поэтому действие этого заряда оказывается пропорциональным плотности (объемной). Вместе с тем Эпинус принимает, что сила взаимного отталкивания между частицами пропорциональна плотности, что несовместимо с законом кулоновского типа.

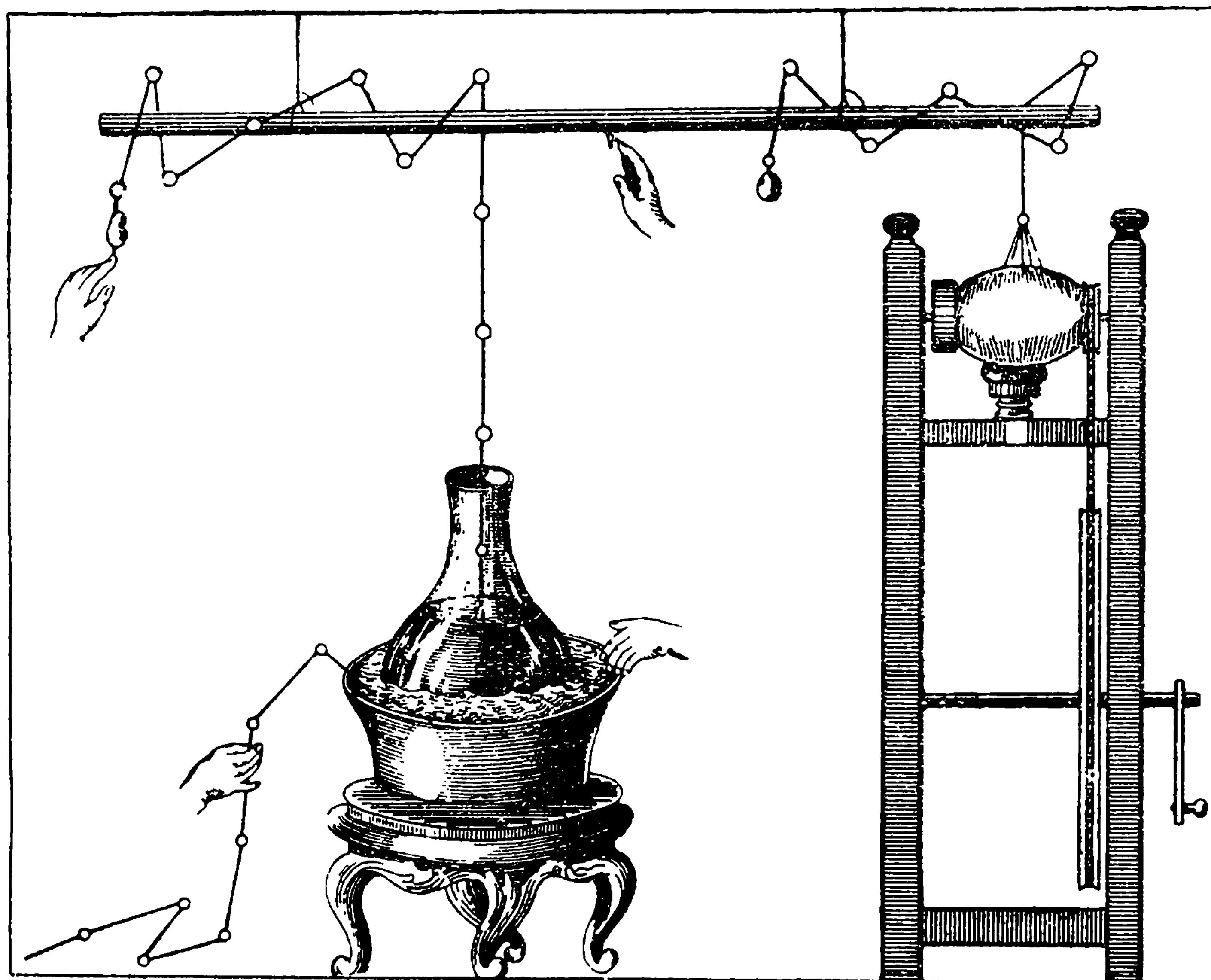
20. Эпинус отмечает аналогию между законами электро- и магнетостатики и ньютоновским законом тяготения.

21. Это замечание автора вряд ли можно признать справедливым. Если бы было известно распределение плотности электричества (или, соответственно, магнетизма) в разнообразных случаях, то это позволило бы как раз установить закон взаимодействия между частицами.

22. Предположение о том, что сила взаимодействия электрических зарядов убывает обратно пропорционально квадрату расстояния между ними, повидимому, никем до Эпинуса не высказывалось.

В отношении магнитных взаимодействий такое предположение впервые было сделано в 1750 г. Дж. Майчеллем в упомянутом нами (см. примечание 5) трактате на основании анализа опытов Мушенбрёка над притяжением магнитов, описанных им в его „Dissertatio de Magnete“.

23. Этот неправильный вывод был сделан Дю-Фэ в 1733—1734 гг.: „Рассудив, что тела, менее электрические по своей природе, притягиваются более сильно, чем другие, я подумал, что, быть может, наэлектризованное тело притягивает к себе все те тела, которые не наэлектризованы, и отталкивает все те тела, которые уже стали наэлектризованными путем прикосновения с ними и тем сообщения им этой способности“ (J. Daujat. Origines et formation de la théorie des phénomenes électriques et magnétiques. Paris, 1945, стр. 416).



Фиг. 1.

24. Так называемая „лейденская банка“, или „банка Мушенбрёка“, была изобретена Э. Г. Клейстом в конце 1745 г. в Померании и почти одновременно Мушенбрёком в Лейдене. Последний поставил и описал многочисленные опыты с этим прибором, вследствие чего в дальнейшем это изобретение и ассоциировалось с его именем.

25. В середине XVIII в. при постановке электрических опытов электростатическая машина соединялась посредством металлических цепочек с металлическими брусками, подвешенными на шелковых шнурках. После изобретения лейденской банки к одному из брусков для усиления эффекта стали присоединять банку, наполненную водой. Электрическая машина состояла обычно из вращающегося стеклянного шара, прижимавшегося к кожаной подушке. Такая установка изображена на фиг. 1, заимствованной нами из популярной книги Л. Эйлера „Lettres á une princesse allemande sur divers sujets de physique et philosophie“ (С.-Петербург, 1768, т. II, письмо CXIX, стр. 321).

26. Таким образом, автор вводит понятие о *сгущении* электрической жидкости, приближаясь тем самым к понятию об электрическом потенциале.

27. „. . . из одной. . . нити“, т. е. из одного волокна.

28. Этот прибор представляет собою прообраз „электрофора“, изобретение которого приписывается обычно А. Вольта (1775). В своем письме к Жану Сенебье, датированном 10 сентября 1778 г., А. Вольта сам писал по этому поводу следующее: „Относительно изобретения электрофора совершенно верно то, что Вильке и Эпинус его предвосхитили своим опытом с серой, расплавленной в металлической чашке: он описан в «Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi» Эпинуса и в его мемуарах о турмалине“. (A. Volta, Le Opere. Milano, 1918—1929, v. VII, p. 302). Однако Вольта неоднократно настаивал на том, что Эпинус и Вильке открыли новое явление, но не сконструировали электрофора и не претендовали на изобретение нового прибора, он же использовал это явление для устройства аппарата, с помощью которого можно было добиться эффекта, во много раз превосходящего результаты Эпинуса и Вильке. (См.: A. Volta. Le Opere, v. III).

29. Высказанное автором предположение о колебательном характере разряда лейденской банки, обычно приписываемое Гельмгольцу (H. Helmholtz. Ueber die Erhaltung der Kraft. Berlin, 1847), подтвердилось теоретическими расчетами В. Томсона лишь в 1853 г. [W. Thomson, Phil. Mag. (4), 5, 1853, p. 393]. Опытное доказательство было получено впервые Феддерсеном в 1859 г. путем фотографирования изображения искры в быстро вращающемся зеркале (W. Feddersen, Pogg. Ann., Bd. 108, 1859, S. 497).

30. Этот мемуар воспроизведен с примечаниями автора в книге Эпинуса „Recueil des différents mémoires sur la tourmaline“ (С.-Петербург, 1762).

31. Ссылка эта дана неправильно: к 1755 г. относится т. X.

32. Таким образом, автор уже пользуется понятием емкости, хотя и не произносит этого слова.

33. Намек на пословицу: Errare humanum est — человеку свойственно ошибаться.

34. Таким образом, автор справедливо рассматривает систему облако—поверхность земного шара как своеобразный конденсатор.

35. Понятие о намагниченности насыщения, вводимое здесь Эпинусом, относится, как видно из дальнейшего, к максимальной *остаточной* намагниченности, между тем как в настоящее время намагниченностью насыщения обозначается наибольшая *временная* намагниченность, достигаемая под действием внешнего магнитного поля. См. § 204, стр. 201.

36. Дж. Кэнтон (J. Canton, 1718—1772) опубликовал в 1751 г. в „Transactions of the Royal Society“ (v. XLVIII, p. 31) труд „A method of making Artificial magnets without the use of and yet far superior to any Natural ones“ („Метод изготовления искусственных магнитов без применения естественных и притом их значительно превосходящих“).

37. „Пока он не приобрел голубой цвет“. Тонкие прозрачные пленки окислов, образующиеся на стали при нагревании, естественно окрашены в различные цвета в зависимости от степени нагрева, которому подвергался образец. Синяя и светлоголубая окраски соответствуют примерно 300—310°Ц (точка Кюри железа равна 753°Ц).

38. В подлиннике два параграфа подряд ошибочно занумерованы 107. Мы их обозначим соответственно „107“ и „107a“.

39. „Шкала“ в подлиннике „scala“, т. е. график.

40. В подлиннике этот параграф ошибочно отмечен цифрой 138. Мы не сочли возможным исправлять эту ошибку подлинника, дабы не изменять всю последующую нумерацию параграфов.

41. Таким образом, автор намеревался поставить эксперимент с искусственными магнитами вместо естественных, которыми пользовались Мушенбрёк (Dissertatio de Magnete. Лейден, 1729) и другие. Последующий параграф проливает свет на сущность этих соображений автора. Дело в том, что, как он отмечает, „для искусственных магнитов выбирают обыкновенно весьма длинные стальные прутья; наоборот, естественные магниты обычно бывают короткими“. Можно полагать, что автор намеревался воспользоваться именно длинными искусственными магнитами, чтобы, по возможности, приблизиться к идеальному случаю взаимодействия двух полюсов.

42. „Подобных и равных друг другу“, т. е. одинаковых по форме и размерам.

43. А. Реомюр (1683—1757) описал этот опыт в „Mémoires de l'Académie des Sciences“ за 1723 г.

44. Точка F пересечения CD и cd на фиг. XXXVI в подлиннике не обозначена.

45. Чувствительность применявшихся Мушенбрёком весов, как он указывает, достигала $^1/_{20}$ грана, т. е. 3 мг (Dissertatio de Magnete, гл. I).

46. „Об определенной величине этого действия", т. е. о точно измеренной величине этого действия. Автор здесь снова подчеркивает приближенный характер его формул.

47. „Аппликата" — то же, что ордината.

48. „Находящееся в таком состоянии", т. е. до соприкосновения с телом *B*.

49. Автор полагает, что электричество распределяется „равномерно по совокупности тел", а следовательно и в одном теле, что, разумеется, неправильно, так как выравниваются потенциалы, а не количества электричества.

50. В подлиннике два параграфа подряд ошибочно одинаково занумерованы 204. Мы их обозначили соответственно „204" и „204а".

51. Ср. примечание 35.

52. „Более благородным магнитом", т. е. более мощным.

53. Следует заметить, что наблюдаемая зависимость всех описываемых здесь явлений от времени интерпретируется автором как результат постепенного просачивания магнитной жидкости. Между тем в действительности эти явления последействия вызваны рассасыванием внутренних магнитострикционных напряжений и отчасти диффузией примесей.

54. На фиг. XLVI буква *I* в подлиннике отсутствует. „Пространство *HIK*" — полусферическое пространство, отмеченное буквой *f*.

55. На фиг. XLVII в подлиннике буква *I*, так же как и буква *K*, упоминаемая затем, отсутствует. Положение *I* и *K* легко установить по фиг. XLVIII, где части ярма *GHI* и *MLK* приведены без образца *ABCD*.

56. Речь идет об изданной Мушенбрёком в Лейдене в 1731 г. книге „Tentamina experimentorum naturalium captorum in Accademia del Cimento" („Избранные примеры физических экспериментов, произведенных в Академии Опыта"), представляющей собою перевод с итальянского с примечаниями и дополнениями Мушенбрёка.

57. В подлиннике это слово по ошибке пропущено.

58. См. примечания 5 и 36.

59. Слово „закрепить" в подлиннике пропущено.

60. См. § 242.

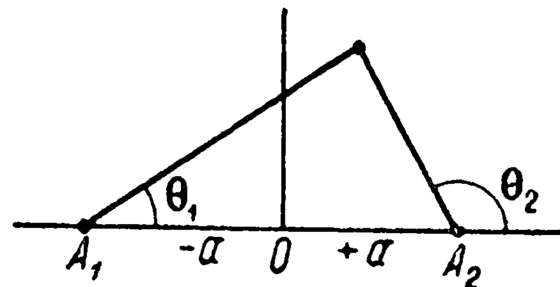
61. Таким образом, „натирание" магнитом оказывается вовсе не обязательным. Сущность его заключается в том, что при „натирании" происходит очень близкое соприкосновение магнита с намагничиваемым образцом и создается достаточно сильное поле.

62. Понятие „электрический и магнитный вихрь" тождественно с понятием электрического и магнитного поля.

63. При электрическом разряде через атмосферу образуется закись азота, присутствие которой и вызывает запах.

64. Эпинус — типичный представитель сторонников механистического материализма XVIII в. Там, где законы механики оказываются недостаточными, он не видит другого выхода, кроме вынужденного допущения божественной воли.

65. Автор классифицирует причины, по Аристотелю, на: 1) конечную или целевую причину, ради которой происходит явление, и 2) действующую причину, вследствие которой происходит явление.



Фиг. 2.

66. Английский астроном Э. Галлей (E. Halley, 1655—1742) опубликовал эту теорию в „Philosophical Transactions“ Лондонского королевского общества в 1692 г. В течение многих лет он настаивал на ее справедливости, опираясь на свои опытные измерения. Однако гипотеза Галлея, первоначально принятая весьма восторженно, вскоре встретила многочисленные возражения.

67. Т. е. если бы земной шар обладал бы электрическим моментом подобно тому, как он обладает магнитным моментом.

68. В самом деле, поскольку

$$EF : dy = NG : NH,$$

то

$$NH = \frac{NG\,dy}{EF} = \frac{(SG - SN)\,dy}{EF} = \frac{[y \operatorname{tg}(SFG) - x]\,dy}{EF} =$$

$$= \frac{\left(y\,\frac{dx}{dy} - x\right)dy}{EF} = \frac{y dx - x dy}{EF}.$$

69. „Произвольное предположение“ о том, что сила взаимодействия убывает обратно пропорционально первой степени расстояния.

70. Рассмотренный автором случай, когда взаимодействие между зарядами убывает обратно пропорционально первой степени расстояния, выбран им, повидимому, не только вследствие своей математической простоты, но также и вследствие того, что наблюдаемые линии мало отличаются от вычисленных по этому закону.

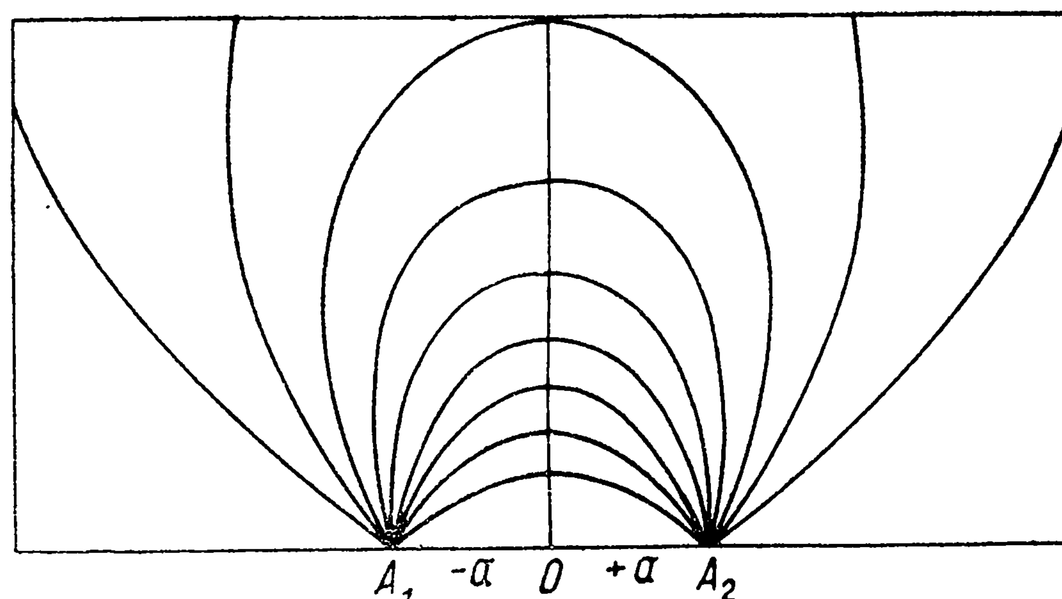
Пусть имеются две точки $A_1(-a, O)$ и $A_2(+a, O)$ (фиг. 2), расположенные на расстоянии $2a$ друг от друга и заряженные одинаково по величине, но противоположно по знаку, причем сила взаимодействия убывает обратно пропорционально n-й степени расстояния. Тогда при $n = 1$ уравнение силовых линий может быть написано в форме

$$\theta_1 - \theta_2 = \text{const}, \tag{1}$$

т. е. в согласии с результатом автора силовые линии являются дуговыми отрезками кругов. В случае если $n=2$ (закон Кулона) уравнение силовых линий принимает вид

$$\cos\theta_1 - \cos\theta_2 = \text{const}. \tag{2}$$

Элементарные соображения показывают, что силовые линии кулоновского поля (2) тем более походят на силовые линии поля (1), чем ближе рассматриваемые линии к прямой A_1A_2. Неудивительно поэтому, что линии, наблюденные вблизи полюсов в опыте с опилками, оказались, как указывает автор, весьма сходными с дуговыми отрезками кругов (фиг. 3).



Фиг. 3.

71. Aepinus. Descriptio acuum magneticarum noviter inventarum. Acta Acad. Mogunt., t. II, Moguntiae, 1761.

72. На фиг. CIII в подлиннике ошибочно поставлена буква S вместо G.

73. См. предыдущее примечание.

74. Dissertatio de Magnete, Лейден, 1729.

75. На языке современной физики этот вопрос заключается в следующем.

Магнитная стрелка, обладающая магнитным моментом μ_0, испытывает в поле магнита AB двоякое действие: 1) вращающий момент P_1 и 2) силу притяжения или отталкивания F_1. Далее, точно такая же другая стрелка испытывает в поле другого магнита ab двоякое действие: 1) вращающий момент P_2 и 2) силу притяжения или отталкивания F_2. Пусть магнитные моменты магнитов AB и ab соответственно равны μ_1 и μ_2, пусть оси обеих стрелок расположены под одинаковыми углами φ к осям магнитов. В этом случае можно утверждать, что если $\mu_1 \gg \mu_2$ и при этом $P_1 = P_2$, то

$$F_1 \ll F_2.$$

Действительно, пусть расстояние от центра первой стрелки до центра магнита AB равно R, а расстояние центра второй стрелки до центра магнита ab равно r, причем R и r велики по сравнению с линейными размерами магнитов. Как известно, вращающие моменты, испытываемые стрелками, пропорциональны напряженности поля, а силы притяжения или отталкивания пропорциональны градиенту напряженности поля.

Таким образом, легко видеть, что

$$P_1 = \pm \mu_0 \frac{\mu_1}{R^3} \sin \varphi; \qquad (1)$$

$$P_2 = \pm \mu_0 \frac{\mu_2}{r^3} \sin \varphi \qquad (2)$$

и, следовательно,

$$F_1 = \mp \mu_0 \frac{3\mu_1}{R^4} \sin \varphi; \qquad (3)$$

$$F_2 = \mp \mu_0 \frac{3\mu_2}{r^4} \sin \varphi. \qquad (4)$$

Если теперь принять условие, что

$$P_1 = P_2,$$

значит, согласно (1) и (2),

$$\mu_1 r^3 = \mu_2 R^3,$$

а поскольку $\mu_1 \gg \mu_2$, очевидно $R \gg r$. Далее на основании (3) и (4)

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{r}{R}, \text{ следовательно } F_1 \ll F_2.$$

Вывод этого соотношения проводится автором в последующих параграфах (§§ 334—338). Необходимо, однако, снова подчеркнуть, что это рассуждение фактически применимо лишь в случае, если стрелка расположена на расстоянии, значительно превосходящем размеры магнита. Для условий на поверхности земного шара эти условия в принципе не применимы. Однако в действительности распределение источников земного магнитного поля в земном шаре приблизительно таково, как если бы в центре его был расположен весьма малый диполь с моментом 3.06×10^{25} единиц (данные 1945 г., см.: W. Elsasser. Earth's Interior and Geomagnetism. Reviews of Mod. Physics, v. 22, № 1, 1950).

76. В подлиннике эта фраза ошибочно повторена дважды.

77. Выписывание огромного числа десятичных знаков характерно для большинства научных трудов того времени, когда еще отсутствовала

теория погрешностей. Тем более достойно внимания, что Эпинус находит возможным в дальнейшем пренебречь шестью последними десятичными знаками, с тем, чтобы получить более наглядное сопоставление численных значений.

78. „Немагнитного железа“ — ненамагниченного железа.

79. Современные данные позволяют оценить порядок величины относительного изменения веса, которое должен был бы испытать подвешенный вертикально постоянный магнит.

Изменение веса p

$$\Delta p = \pm M \frac{dH_z}{dz},$$

де M — постоянный момент магнита, а $\frac{dH_z}{dz}$ — градиент вертикальной составляющей земного магнитного поля H_z.

Принимая во внимание, что $M = I_r v$ (где I_r — остаточная намагниченность на 1 см^3, а v — объем магнита), и что $p = v\rho g$ (где ρ — плотность стали магнита, g — ускорение силы тяжести)

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{I_r}{\rho g}\left(\frac{dH_z}{dz}\right).$$

Пусть $I_r \cong 10^3$ гаусс, а $\rho = 7$—8, тогда, учитывая, что, например, для Ленинграда $\frac{dH_z}{dz} \cong 7.5 \cdot 10^{-9}$ $\frac{\text{эрстед}}{\text{см}}$ (см.: Б. М. Яновский. Земной магнетизм. 1941, стр. 105) получаем

$$\frac{\Delta p}{p} \cong \pm 10^{-9},$$

т. е. величину, лежащую за пределами точности современных весов.

80. В подлиннике здесь добавлен в скобках немецкий термин „glasshart“ (твердый, как стекло).

81. См. примечание 53.

82. Остаточное намагничение железных руд, извлеченных из земли, повидимому, объясняется не столько тем, что они длительное время подвергались действию земного поля, сколько тем, что они, находясь под действием магнитного поля земли, медленно остывали, проходя через точку Кюри.

83. В подлиннике: refractorii — упорные, строптивые и non refractorii — не упорные, не строптивые (по отношению к магниту).

84. Автор приводит немецкое название „Glasskopf“.

85. В подлиннике приведен немецкий термин „Kammertz“ (дословно: гребенчатая руда). Термин „зубцоватая руда“ заимствован нами из

изданных М. В. Ломоносовым „Первых сочинений металлургии или рудных дел“ (СПб., 1763), где в разделе железных руд сказано „Зубцоватая железная руда цвет и светлость имеет почти как железо; состоит из широких слоев, которые углами своими в одно место сошлись и тем подобие гребня имеют“ (М. В. Ломоносов, Соч., т. VII, Изд. Акад. Наук СССР, Л., 1934, стр. 52).

86. В подлиннике приводится также немецкий термин „rösten“ — обжигать. Флогистон — горючее начало. Носителями флогистона признавались все горючие тела и, особенно, сера (как легко воспламенимое вещество), поэтому горючие и серные частицы отождествлялись друг с другом.

87. Окись железа (гематит) Fe_2O_3 встречается в двух модификациях: $\alpha\ Fe_2O_3$ — парамагнитен, $\gamma\ Fe_2O_3$ — ферромагнитен. В природе встречается также гидратированная окись $Fe_2O_3\ H_2O$ в α и γ модификациях (пиросидерит и лепидокроцит). Обе гидратированные модификации парамагнитны. При обезвоживании их путем нагревания ниже 500°Ц обе модификации переходят в ферромагнитную $\gamma\ Fe_2O_3$. При нагревании последней выше 500° образуется $\alpha\ Fe_2O_3$. Присутствие в $\gamma\ Fe_2O_3$ примесей кремнезема, глинозема или гидроокиси натрия делает ее более устойчивой по отношению к нагреву (см.: П. Сельвуд. Магнетохимия. Иноиздат, 1949, гл. VIII, § 7).

88. В подлиннике приводится немецкий термин „gediegenes Eisen“ — самородное железо.

89. А. Маркграф (A. Markgraf, 1709—1782).

90. В подлиннике наряду с латинским термином „inspersum“ в скобках приводится его немецкий синоним „eingesprengt“ — вкраплено.

91. „Кислые спирты“ — кислоты.

92. По воззрениям химиков XVIII в., металлы считались сложными телами, состоящими из металлической земли и флогистона (горючего начала).

93. См. примечание 86.

94. В „Курсе истинной физической химии“ М. В. Ломоносова „цементация“ определена следующим образом: „Цементация совершается, если растворяемое тело и растворитель — твердые тела, которые кладутся в сосуд одно на другое последовательными слоями, накрываются и подвергаются действию известного градуса теплоты, чтобы подлежащее растворению тело растворялось растворителем, отчасти или вполне плавящимся“ (Б. Н. Меншуткин. Труды М. В. Ломоносова по физике и химии. Изд. Акад. Наук СССР, 1936, стр. 403).

95. Здесь автор высказывает идеи, весьма необычные для науки середины XVIII в. Как известно, аналогичные идеи в отношении возникновения залежей самородных металлов были высказаны впервые

М. В. Ломоносовым в его „Слове о рождении металлов от трясения земли“, произнесенном им на торжественном заседании Академической конференции 6 сентября 1757 г.

96. Закалка стали вызвана, как известно, существованием двух модификаций железа с различной растворимостью углерода. У магнитного железняка Fe_3O_4 не обнаружено таких двух модификаций, поэтому предлагаемый автором метод „закалки“ образцов руды не вполне аналогичен закалке стали.

Известно, что при нагревании до 300°Ц в атмосфере, содержащей кислород, Fe_3O_4 окисляется и переходит в ферромагнитную модификацию γFe_2O_3. При нагревании магнетита выше 500°Ц Fe_3O_4 окисляется, но переходит в парамагнитную αFe_2O_3. Предлагаемый автором метод закалки, повидимому, приводит к сохранению ферромагнитной модификации γFe_2O_3. Кроме того, возникновение упругих напряжений в быстро охлажденном образце увеличивает его гистерезис.

97. Произведенное исследование намагничения рудных тел в районах магнитных аномалий показывает, что в ряде случаев направление намагничения их не совпадает с направлением магнитного поля Земли. Можно полагать, что эти залежи изменили в результате тектонических процессов свое первоначальное положение, уже будучи в остывшем и намагниченном состоянии.

98. При различных тектонических процессах локальные элементы земного магнитного поля могут, конечно, испытывать изменения, однако этим обстоятельством нельзя объяснить апериодических вариаций — „бурь“ — магнитного поля, как это предлагает автор. В настоящее время можно считать твердо установленным, что „магнитные бури“ тесно связаны с солнечной активностью и полярными сияниями и обусловлены, повидимому, процессами, протекающими в ионосфере.

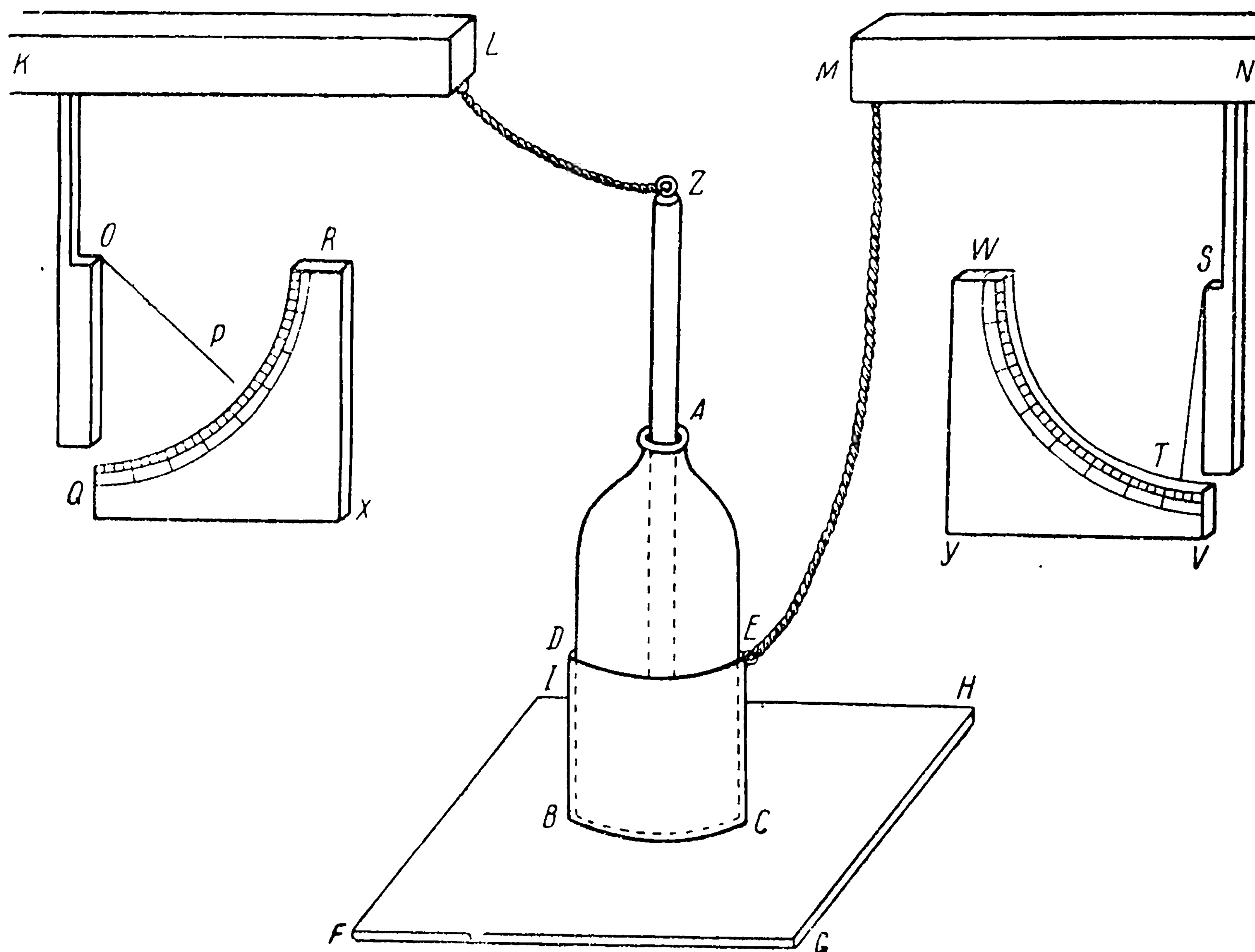
99. Действие сотрясений на намагниченность ферромагнитных тел объясняется в действительности тем, что упругие колебания (стоячие волны) облегчают рассасывание внутренних упругих магнитострикционных напряжений.

100. Представление о том, что электрические явления в известной мере связаны с магнитными, высказывалось различными авторами на основании описанных здесь опытов Франклина и др. Повидимому наиболее ярким защитником этой идеи в середине XVIII в. был Д'Алибар (d'Alibard), издавший в 1752 г. „Опыты и наблюдения над электричеством“ Франклина на французском языке и снабдивший их комментариями, отчасти основанными на собственных опытах. Он утверждал в этих комментариях, что „магнетизм — не что иное, как действие электрической материи“. Он полагал, что все естественные магниты намагничены ударами молний.

101. Такого рода исследований среди опубликованных трудов Эпинуса не имеется. Речь идет о продольном намагничении стержней, через которые прошел электрический разряд, а не о циркулярном магнитном поле, окружающем проводник. Это последнее было твердо установлено впервые Эрстедом лишь в 1820 г. При прохождении электрического разряда через стержни циркулярное намагничение всегда сопровождается некоторой продольной составляющей, вызванной внешним постоянным местным (земным) полем. Колебательный разряд влияет, таким образом, в известной мере аналогично сотрясениям, вызывая упругие магнитострикционные колебания.

102. Немагнитную, т. е. ненамагниченную.

103. Этот опыт описан Г. В. Рихманом в работе, осуществленной



Фиг. 4.

в 1752—1753 гг., но опубликованной посмертно лишь в 1758 г. (Novi Commentarii, v. IV, pp. 301—304): De indice electricitatis et de ejus usu in definiendis artificialis et naturalis electricitatis phenomenis dissertatio („Диссертация об электрическом указателе и о его применении для определения явлений искусственного и естественного электричества“). В этой работе описывается устройство изобретенного Рихманом нитяного электрометра — „указателя“ — и произведенные с ним опыты. Среди них излагается также опыт, упоминаемый Эпинусом (фиг. 4):

„Указатель показал мне, что электричество из одного тела может как бы выталкиваться в другое тело.

„Действительно, пусть по обе стороны от Мушенбрёковой банки *ABC*, расположенной на стеклянной пластине *FGHI* и снабженной на наружной поверхности дна металлической обкладкой, помещены бруски *KL* и *MN*, прикрепленные перпендикулярно к телам, электрическим по своей природе, служащим совершенно одинаковыми указателями *OQXR* и *SVYW*. Пусть один из брусков[1] приведен в соприкосновение с линейкой *ZA* банки Мушенбрёка, а другой с металлической обкладкой *DEBC*, окружающей банку. Тогда, если путем натирания электризующего стекла возбудить электричество[2] в одном из брусков, то оно, как покажут указатели, возбудится и в другом. Если после этого прикоснуться и к бруску *KL*, непосредственно наэлектризованному электрическим стеклом, то это электричество исчезнет, а нить *OP* плотно пристанет к линейке; через мгновение и нить второго указателя *ST* примет положение, при котором она прилегает к своей линейке. Однако же вскоре в бруске *MN* восстанавливается электричество, как это показывает отталкивание нити. Если теперь вновь прикоснуться к этому бруску, то нить указателя плотно пристанет к линейке, а брусок, находящийся с другой стороны от банки, получит электричество, как это покажет отталкивание нити. Если электричество[3] имеет большую мощь, то это будет происходить поочередно хотя бы десять раз подряд без приведения машины в движение и тем не менее электричество не исчезнет полностью.

„В чем же дело? В том ли, что при этом бесконечное тело[4] отнимает у частиц стекла или у частиц электрической материи, прилегающей к частицам стекла, их движение, вызываемое одной частью поверхности банки, и произведет его только в другой части поверхности? Или же действительно приходится допускать, что некая материя переходит из бесконечного тела в конечное через пораженные электричеством стенки банки?".

Следует заметить, что, как видно из текста и из рисунка, приложенного к работе Рихмана, экспериментальная его установка слегка отличается от описания, приведенного Эпинусом. В статье Рихмана обкладки лейденской банки присоединяются к электрометрам, состоящим из укрепленных на изоляторах брусков *KL* и *MN*, к которым

---

[1] Т. е. металлических проводников. (*Прим. ред.*).

[2] Т. е. наэлектризовать. (*Прим. ред.*).

[3] Электризация. (*Прим. ред.*).

[4] Земля, с которой соединяется брусок через посредство человека. (*Прим. ред.*).

привешены нити, отклонение которых отмечается на квадрантах, снабженных делениями. В принципиальной схеме этого опыта, приводимой Эпинусом, нити считаются прикрепленными непосредственно к обкладкам банки. Иными словами, Эпинус как бы считает емкость электрометров ничтожно малой по сравнению с емкостью банки и исключает ее из рассмотрения.

К „Речи о сходстве электрической силы с магнитною“

1. „Речь“ была произнесена Эпинусом 7 сентября 1758 г. на публичном Общем собрании Петербургской Академии Наук. В то время Эпинус еще не знал русского языка; впоследствии он его изучил в совершенстве. Речь была произнесена, повидимому, по-латыни и переведена на русский язык под руководством и при участии академика С. Я. Румовского. Она была опубликована Академией на русском, латинском и немецком языках. В 1760 г. в Лейпциге вышло самостоятельное немецкое издание этой речи. Благодаря этому обстоятельству „Речь“ получила в XVIII в. широчайшее распространение. Мы сохранили язык подлинника, лишь изменив орфографию и пунктуацию.

2. Ш. Ф. Дю-Фэ (Ch. F. du-Fay, 1698—1793). Речь идет о шести мемуарах об электричестве, опубликованных в Mémoires de l'Acad., Paris, 1733—1734. Автор ссылается также на амстердамское издание этих трудов Дю-Фэ.

3. F. U. T. Aepinus. Mémoire concernant quelques nouvelles Expériences Electriques remarquables. Mém. Acad. Roy., Berlin, 1757.

4. Под термином „сокровенные качества“ понимались в XVIII в. принципиально непознаваемые свойства, существование которых Эпинус отрицает. Свою точку зрения на этот философский вопрос Эпинус разъясняет весьма подробно в „Опыте“ (см. стр. 21 и далее).

К „Мемуару, содержащему точное описание опытов, проведенных с турмалином“ и „Дополнению к предыдущему мемуару“

1. Настоящий мемуар, помеченный августом 1758 г. и написанный в Петербурге, был впервые опубликован в сборнике „Recueil de différents mémoires sur la Tourmaline“, изданном в Петербурге в 1762 г. на французском языке. „Дополнение к предыдущему мемуару“ (стр. 450) было, повидимому, написано перед самым опубликованием сборника.

Сборник содержит следующие сочинения: 1. Ф. У. Т. Эпинус. Мемуар о некоторых новых замечательных опытах по электричеству. — 2. Ф. У. Т. Эпинус. Мемуар, содержащий точное описание опытов, проведенных с турмалином. — 3. Ф. У. Т. Эпинус. Дополнение

к предыдущему мемуару. — 4. Граф Де-Нойя Караффа. Письмо о турмалине к г-ну Де-Бюффону. С примечаниями Эпинуса. — 5. Ф. У. Т. Эпинус. Письмо к г-ну графу Де-Нойя Караффа относительно турмалина. — 6. Веньямин Вильсон. Опыты, проведенные с турмалином. (Из письма к В. Гибердену). — 7. Ф. У. Т. Эпинус. Замечания о письме г-на Вильсона к г-ну Гибердену о его опытах относительно турмалина.

Целью сборника было опровергнуть неверные утверждения других авторов, выступавших с полемическими статьями против Эпинуса. Один из противников Эпинуса скрыл свое настоящее имя под псевдонимом графа Де-Нойя Караффа. Эпинус применил прием, весьма распространенный в XVIII в.: он собрал вместе как свои мемуары по данному вопросу, так и мемуары своих противников, снабдил их своими комментариями и блестяще доказал, таким образом, справедливость своих работ.

2. Как видно из первых строк приводимого нами „Мемуара", в нем подробно описаны опыты, часть которых была упомянута в мемуаре, опубликованном в Берлине еще в 1756 г. „Дополнение" к этому мемуару (стр. 450) излагает исключительно опыты и наблюдения автора, произведенные им в Петербурге в период 1758—1762 гг.

3. Лемери старший (N. Lemery, 1645—1715) — известный французский химик.

4. Т. е. наэлектризованным.

5. См. „Опыт", гл. I.

6. Recueil des differents mémoires sur la Tourmaline. Mémoire I.

7. Эпинус здесь впервые формулирует закон сохранения количества электричества.

8. См. „Опыт", стр. 74—81

9. Эпинус здесь в известной мере предвосхищает открытие электризации соприкосновением, приписываемое обычно целиком А. Вольта (1796). Эпинус, как и впоследствии Вольта, утверждает, что соприкосновение разнородных тел само по себе уже может быть источником электризации.

10. Речь о сходстве электрической силы с магнитною.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ТРУДОВ Ф. У. Т. ЭПИНУСА И МАТЕРИАЛОВ О ЕГО ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

I. Труды Ф. У. Т. Эпинуса, опубликованные в печати

1. De curvis in quibus corpora gravitate naturali agitata ea lege descendunt ut quantitatum descensus metiatur quaevis potestas temporis. Rostock, 1747.

2. Commentatio de notione quantitatis negativae. Rostock, 1754.

3. De integratione et separatione variabilium in equationibus differentialibus duas variabiles continentibus. Rostock, 1755.

4. Demonstration du théoreme de Harriot etc. Mém. Acad. Berl., 1756.

5. De la figure des supports d'une voute. Mém. Acad. Berl., 1756.

6. Mémoire concernant quelques nouvelles expériences électriques remarquables. Mém. Acad. Berl., 1756.

7. Sur l'usage du micromètre. Mém. Acad. Berl., 1756.

8. Размышления о возврате комет с кратким известием о ныне явившейся комете. Ежемесячные сочинения, к пользе и увеселению служащие, II, СПб., 1757.

9. Рассуждение о некоторых новых способах, принадлежащих к поправлению магнитных стрелок и морского компаса. Ежемесячные сочинения, к пользе и увеселению служащие, II, СПб., 1758.

10. Речь о сходстве электрической силы с магнитною. СПб., 1759.

11. Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi. Petropoli, 1759.

12. Краткое известие о ново-изобретенном способе к умножению силы в натуральных магнитах. Ежемесячные сочинения, к пользе и увеселению служащие, СПб., 1760.

13. Descriptio ac explicatio novorum quorundem experimentorum electricorum. Novi Comm. Acad. Petropolitanae, v. VI, 1761.

14. Descriptio acuum magneticarum noviter inventarum. Acta Acad. Mogunt., t. II, Moguntiae, 1761.

15. Рассуждение о разделении теплоты по земному шару. СПб., 1761.

16. Observatio optica de mutabilitate diametri apparentis foraminis angusti, oculo propinqui. Novi Comm. Acad. Petropolitanae, v. VII, 1761.

17. Recueil des différents mémoires sur la Tourmaline. СПб., 1762.

18. De functionium algebraicarum integr. factoribus trinomialibus real. Novi Comm. Acad. Petropolitanae, v. VIII, 1762.

19. Demonstratio general. theorematis Neutoniani de binomio etc. Novi Comm. Acad. Petropolitanae, v. VIII, 1762.

20. De nova quadam vectis proprietata. Comm. Acad. Petropolitanae, v. VIII, 1762.

21. Рассуждение о воздушных явлениях. СПб., 1763.

22. Emendatio microscopii solaris. Novi Comm. Acad. Petropolitanae, v. IX, 1764.

23. Dissertatio de experimento quodam magnetico celeberrini dom. Du-Fay, descripto in Comm. Acad. Sc., Paris, 1730. Novi Comm. Acad. Petropolitanae, v. IX, 1764.

24. Additamentum ad dissertationem de exper. magnetico celeberrini dom. Du-Fay. Novi Comm. Acad. Petropolitanae, v. IX, 1764.

25. Dissertatio astronomica de effectu parallaxeos in transitu planetarum sub sole. Novi Comm. Acad. Petropolitanae, v. X., 1764.

26. Dissertatio astronomica II. Novi Comm. Acad. Petropolitanae, v. X, 1764.

27. De coloribus accidentalibus. Novi Comm. Acad. Petropolitanae, v. X, 1764.

28. De colore umbrarum. Novi Comm. Acad. Petropolitanae, v. X, 1764.

29. Руководство к математической и физической географии. СПб., 1764.

30. De electricitate barometrum disquisitio. Novi Comm. Acad. Petropolitanae, v. XII, 1768.

31. Examen theoriae magneticae a celeberrimo Tob. Mayero propositae. Novi Comm. Acad. Petropolitanae, v. XII, 1768.

32. Descriptio novi phenomeni electrici detecti in chrysolitho sive smaragdo Brasiliensis. Novi Comm. Acad. Petropolitanae, v. XII, 1768.

33. О строении и поверхности луны и происхождении неровностей оныя от внутреннего огня. Известия С.-Петербургск. Акад. Наук, т. VIII, СПб., 1781.

34. Рассуждение о строении мира. СПб., 1783.

35. Plan des wirklichen Staats-Rats Hrn Aepinus (1782—1783). Зап. и. Акад. Наук, т. LIV, 1887.

36. Vorschlag ein Fernrohr als Mikroskop zu gebrauchen. Göttingen, Gel. Anz., 1784.

II. Литература о жизни и деятельности Ф. У. Т. Эпинуса

1. Exposition raisonnée de la théorie de l'Electricité et du Magnetisme, d'après le principes de M. Aepinus des Académies de Pétersbourg, de Turin etc. par M. l'Abbé Haüy. Paris, 1787.

2. П. Пекарский. История императорской Академии Наук в Петербурге, т. I—II. СПб., 1870—1873.

3. С. Порошин. Записки, служащие к истории... цесаревича Павла Петровича (1764—1765). СПб., 1881.

4. А. А. Толстой. Городские училища в царствование императрицы Екатерины II. Зап. и. Акад. Наук, т. LIV, 1887.

5. Русский биографический словарь. Изд. Русск. историч. общ., СПб., 1913.

6. G. Kohfeldt. Rostocker Professoren. Rostock, 1919.

7. М. И. Радовский. Исследования Эпинуса в области электромагнетизма. Журн. „Электричество", № 40, 1940.

8. С. Л. Соболь. История микроскопа и микроскопических исследований в России в XVIII в. Изд. Акад. Наук СССР, 1949.

9. H. Pupke. Franz Ulrich Theodor Aepinus. Die Naturwissenschaften, 37 Jg., H. 3, 1950.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Антольм 515, 516, 540
Аристотель 547

Бентлий 491
Бернулли Д. 501
Бозе 466
Боргман И. И. 537
Браун 540

Вавилов С. И. 491, 492
Вильке И. К. 483, 484, 506—508, 539, 541, 544
Вильсон Веньямин 556
Вольта А. 506, 507, 531, 532, 544, 556
Вольф Х. 465

Галлей Э. 269, 270, 520, 547
Гаюи 514, 533, 534, 536
Гельмгольц 507, 544
Гиберден В. 556
Гильберт 269, 484, 495, 519, 523
Гмелин И. Г. 462

Д'Алибар 552
Д'Арси П. 472
Дезагюлье Ж. Т. 541
Декарт 466
Делиль Ж. Н. 462
Де-Нойя Караффа 556
Де-Соссюр 531
Дюамель 515, 516
Дю-Фэ Ш. Ф. (Дю-Фей) 390, 392, 400, 411, 424, 426, 436, 501, 543, 555

Керр 479
Клейст Э. Г. 543
Коллинсон 541, 549
Котельников С. К. 463, 483
Котс 491
Крафт 501
Крашенинников С. П. 462
Крылов А. Н. 504
Кузен 488, 500, 514, 534, 536
Кулон 502, 510—512, 516, 533, 548
Кэвендиш 502, 505, 513, 514, 523, 532
Кэнтон Дж. (Кантон) 228, 230, 234, 237, 239, 240, 242—245, 247, 343, 393, 440, 485, 515, 516, 535, 545, 548

Лаплас 488, 500, 514, 534, 536
Лежандр 488, 500, 514, 534, 536

Лемери старший 420, 556
Ле-Руа Ж. П. 472
Ломоносов М. В. 462, 464, 465, 469—480, 482—486, 494, 526, 527, 529, 531, 537, 540, 551, 552

Майер Т. 501
Майчелль Дж. 15, 219, 228, 230, 234, 237, 239—243, 245, 247, 343, 485, 501, 515, 516, 535, 539, 543
Максвелл К. 482, 502, 514, 536
Маркграф А. С. 551
Меншуткин Б. Н. 465, 469, 474, 476, 477, 479, 485, 526, 551
Мопертюи 542
Мушенбрёк (Питер фан) 17, 69, 70, 72, 73, 82, 85, 87, 88, 90, 105, 107, 155, 179, 216, 298, 394, 501, 511, 533, 541, 543, 545, 546, 554, 555

Нолле́ 92
Ньютон (Невтон) 9, 20—22, 51, 268, 414, 466, 468, 487, 490, 491, 500, 501, 504, 538

Остерман, граф 540

Паррот Г. Ф. 465
Петр I 10, 462
Порошин С. 464, 559
Пристли 497, 501, 502, 504, 505 514
Пуассон 523

Разумовский Кирилл, граф 482, 539
Реомюр 166, 545
Рихман Г. В. (Георг Вильгельм) 15, 349, 350, 351, 354, 358, 362, 364, 370, 462, 469—474, 480, 482, 483, 501, 529, 537, 540, 553, 554
Розенбергер 492
Румовский С. Я. 463, 483, 487, 555

Сельвуд П. 551
Сенебье Жан 544
Соболь С. Л. 464, 559

Толстой А. А. 464, 559
Томсон В. (Кельвин) 537, 538, 544
Тэйлор 501

Фарадей М. 478, 479, 482, 523, 537
Феддерсен 507, 544
Франклин 10, 18, 24, 31, 54, 55, 71, 86, 88—90, 92—96, 132, 258, 336, 337, 390, 400, 404, 405, 412, 413, 424, 438, 452, 453, 455, 467, 468, 472, 475, 486, 492, 493, 500, 501, 503, 507, 508, 514, 518, 528, 532, 534, 537, 538, 541, 552
Фризиус Павел 480, 482
Фридрих I 461
Фромонд 531

Хоуксби 501

Цейгер 540

Шувалов 473

Эйлер Иоганн-Альбрехт 480
Эйлер Л. 462, 463, 480—483, 544
Энгельс Ф. 478, 479
Эрстед 528, 529, 553
Эшенбах 463

Яновский Б. М. 550

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Опыт теории электричества и магнетизма с приложением двух диссертаций, из коих первая объясняет некоторое электрическое, а вторая некоторое магнитное явление. (Перевод проф. С. Я. Лурье) 5

[Посвящение] 9

Предисловие 13

[Введение] 17

Глава I. Общие основы теории электричества и магнетизма . . 23

Глава II. Об электрическом и магнитном притяжении и отталкивании 121

Глава III. О передаче электричества и магнетизма 191

Глава IV. О некоторых явлениях, происходящих в телах, погруженных в электрический и магнитный вихрь, и о магнетизме Земли 257

[I диссертация] Объяснение одного явления в лейденской банке, открытого знаменитейшим Рихманом 349

[II диссертация] Объяснение одного парадоксального магнитного явления 372

Речь о сходстве электрической силы с магнитною 387

Мемуар, содержащий точное описание опытов, проведенных с турмалином 417

Дополнение к предыдущему мемуару 452

Приложения

Эпинус и его трактат о теории электричества и магнетизма проф. Я. Г. Дорфман 461

Примечания 539

К „Опыту теории электричества и магнетизма“ 539

К „Речи о сходстве электрической силы с магнитною“ 555

К „Мемуару, содержащему точное описание опытов, проведенных с турмалином“ и „Дополнению к предыдущему мемуару“ . . 555

Стр.

Библиографический указатель трудов Ф. У. Т. Эпинуса и материалов о его жизни и деятельности 557
I. Труды Ф. У. Т. Эпинуса, опубликованные в печати . . . 557
II. Литература о жизни и деятельности Ф. У. Т. Эпинуса . 559
Именной указатель 560

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Академии Наук СССР

*

Редактор издательства *О. И. Дейнека*
Технический редактор *А. В. Смирнова*
Корректоры *А. С. Малютина*
и *Н. М. Шилова*

*

РИСО АН СССР № 4217. М-45205.
Подписано к печати 10/XI 1951 г.
Бумага $70 \times 92^1/_{16}$. Бум. л. $17^5/_8$.
Печ. л. 41.24 + 2 вкл. Уч.-изд. л. 28.
Тираж 3000. Зак. № 1825.
Цена в переплете 26 р. 50 к.

1-я тип. Издательства АН СССР.
Ленинград, В. О., 9 линия, 12.

ОПЕЧАТКИ

Страница	*Строка*	*Напечатано*	*Должно быть*	*По чьей вине*
20	1 снизу	Ньютона	Ньютонова	Корректора
26	5 „	и	я	„
167	19 „	который	кто	Составителя
278	7 „	равно	равен	„
278	8 „	равно	равен	„
378	6 „	проволока f	проволока fe	„
541	12 „	(стр. 385)	(стр. 387)	Техн. редактора
541	16 „	(стр. 415)	(стр. 417)	„ „
555	6 „	(стр. 450)	(стр. 452)	„ „
556	15 „	(стр. 450)	(стр. 452)	„ „

Эпинус. „Теория электричества и магнетизма“.